



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ

ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΗ ΜΟΝΑΔΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ, ΣΤΡΩΜΑΤΟΓΡΑΦΙΑΣ,
ΤΕΚΤΟΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα

«ΓΕΩΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ»

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

**Προτάσεις γεωτρητικού προγράμματος σε ενεργό λατομικό χώρο
με χρήση χωρικών γεωλογικών στοιχείων**



Παναγόπουλος Γεώργιος

Γεωλόγος

Εξεταστική επιτροπή:

Μανούτσογλου Εμμανουήλ, Αν. Καθηγητής (επιβλέπων)

Περδικάτσης Βασίλειος, Καθηγητής

Εξαδάκτυλος Γεώργιος, Καθηγητής

ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2007
ΧΑΝΙΑ

*Αφιερωμένο
στους γονείς μου...*

Περιεχόμενα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	V
ΠΡΟΛΟΓΟΣ	VI
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	VIII
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 : ΕΒΑΠΟΡΙΤΕΣ	- 1 -
1.1 ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	- 1 -
1.1.1 <i>Ηπειρωτικοί εβαπορίτες</i>	<i>- 4 -</i>
1.1.2 <i>Θαλάσσιοι εβαπορίτες</i>	<i>- 4 -</i>
1.2 ΔΙΑΓΕΝΕΣΗ ΕΒΑΠΟΡΙΤΩΝ	- 5 -
<i>Εκταφιασμός βυθισμένων εβαποριτών</i>	<i>- 8 -</i>
1.3 ΔΙΑΠΕΙΡΙΣΜΟΣ ΕΒΑΠΟΡΙΤΩΝ	- 9 -
<i>Μηχανισμοί ροής αλάτων</i>	<i>- 10 -</i>
<i>Η εξέλιξη των δομών άλατος</i>	<i>- 15 -</i>
1.4 Η ΜΕΤΑΒΑΣΗ ΓΥΨΟΥ-ΑΝΥΔΡΙΤΗ	- 18 -
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 : ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ	- 22 -
2.1 ΓΕΝΙΚΟ ΓΕΩΛΟΓΙΚΟ ΠΕΡΙΓΡΑΜΜΑ	- 22 -
2.2 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ	- 27 -
2.3 Η ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΟΥ ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΟΣ ΣΤΟ ΑΛΤΣΙ	- 38 -
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 : ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ	- 41 -
3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	- 41 -
3.2 ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ	- 41 -
3.3 ΜΟΝΤΕΛΟ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ	- 43 -
3.3.1 <i>Κανονικά μοντέλα 3D σταθερού μπλοκ</i>	<i>- 43 -</i>
3.3.2 <i>Κανονικά μοντέλα 3D μεταβλητού μπλοκ</i>	<i>- 43 -</i>
3.3.3 <i>Μη κανονικά μοντέλα 3D μεταβλητού μπλοκ</i>	<i>- 44 -</i>
3.4 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ	- 45 -
3.5 ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ROCK WORKS 2006	- 45 -
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 : ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΡΓΑΣΙΩΝ - ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	- 48 -
4.1 ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΤΟΥ ΛΑΤΟΜΕΙΟΥ ΚΑΙΜΑΚΑΣ 1:500	- 48 -
4.2 ΣΥΛΛΟΓΗ ΤΕΚΤΟΝΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ	- 59 -
4.3 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΠΕΤΡΟΓΡΑΦΙΚΩΝ ΛΕΙΠΤΩΝ ΤΟΜΩΝ	- 60 -
4.4 ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΣΗΜΕΙΑΚΗ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ	- 66 -
4.5 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΨΗΦΙΑΚΗΣ ΒΑΣΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	- 71 -
4.6 ΓΕΩΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ	- 78 -
4.6.1 <i>Εισαγωγή</i>	<i>- 78 -</i>

4.6.2 Στατιστική περιγραφή δεδομένων.....	- 78 -
4.6.3 Εκτίμηση ιδιοτήτων.....	- 82 -
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 : ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ.....	- 97 -
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	- 115 -

Περίληψη

Η παρούσα εργασία σχετίζεται με την μελέτη των θεικών αποθέσεων στο ενεργό λατομείο γύψου-ανυδρίτη της εταιρίας «Ιντερμπιετόν» Α.Ε. στην περιοχή Αλτοί της επαρχίας Σητεία, στην Ανατολική Κρήτη. Στόχος της είναι η κατανόηση της γεωλογικής δομής και η προσέγγιση της χωρικής κατανομής των διαφορετικών λιθολογικών τύπων του συγκεκριμένου θεικού κοιτάσματος, προκειμένου να προταθεί το βέλτιστο γεωτρητικό πρόγραμμα που θα αποδώσει στοιχεία που να διασφαλίζουν την εύρυθμη λειτουργία του λατομείου σε βάθος χρόνου. Για την επίτευξη του ανωτέρω σκοπού συνδυάστηκαν εργασίες πεδίου και υπολογιστικές μεθοδολογίες. Αρχικά χρησιμοποιήθηκαν πέραν του ψηφιακού μοντέλου εδάφους του λατομικού χώρου, τα λιθολογικά δεδομένα που προέκυψαν από την ερμηνεία γεωχημικών δεδομένων των πυρήνων 14 γεωτρήσεων συνολικού βάθους 843m, που πραγματοποιήθηκαν το 1982 κατά την αναγνωριστική ερευνητική φάση του κοιτάσματος στην περιοχή του σημερινού λατομικού χώρου, καθώς επίσης τα αποτελέσματα γεωχημικών αναλύσεων 100 σημειακών επιφανειακών δειγμάτων. Τα στοιχεία αυτά επεξεργάστηκαν με το λογισμικό «Rock Works 2006» για την δημιουργία τρισδιάστατης προσομοίωσης της κατανομής των θεικών αποθέσεων του λατομείου. Στην συνέχεια τα αποτελέσματα της προσομοίωσης συνδυάστηκαν με στοιχεία που προέκυψαν από την γεωλογική χαρτογράφηση, κλίμακας 1:500, του λατομικού χώρου και την πετρογραφική μελέτη αντιπροσωπευτικών θεικών σχηματισμών. Ο συνδυασμός όλων των ανωτέρω οδήγησε στις τελικές προτάσεις γεωτρητικού προγράμματος.

Πρόλογος

Στα πλαίσια της ολοκλήρωσης του μεταπτυχιακού προγράμματος ειδίκευσης του Τμήματος Μηχανικών Ορυκτών Πόρων του Πολυτεχνείου Κρήτης «Γεωτεχνολογία και Περιβάλλον» μου ανατέθηκε από τον Αναπληρωτή Καθηγητή κ. Εμμανουήλ Μανούτσογλου η εκπόνηση της μεταπτυχιακής διατριβής ειδίκευσης με τίτλο «Προτάσεις γεωτρητικού προγράμματος σε ενεργό λατομικό χώρο με χρήση χωρικών γεωλογικών στοιχείων». Αντικείμενο αυτής της διατριβής ειδίκευσης είναι μια σειρά εναλλακτικών γεωτρητικών προγραμμάτων για το ενεργό γυψορυχείο της εταιρίας «INTERMPIETON» στο Αλτσι, της επαρχίας Σητείας στην ανατολική Κρήτη, με χρήση χωρικών γεωλογικών στοιχείων που προέκυψαν από παλαιότερα στοιχεία της εταιρίας, από εργασίες πεδίου που πραγματοποιήσαμε, και την επεξεργασία τους με υπολογιστικές μεθοδολογίες. Το παρόν σύγγραμμα περιέχει μόνο ένα μέρος των θετικών στοιχείων και γνώσεων που αποκόμισα τα δύο τελευταία χρόνια στο τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων του Πολυτεχνείου Κρήτης.

Από τη θέση αυτή θα ήθελα να εκφράσω τις θερμότερες ευχαριστίες μου σε όσους βοήθησαν, με κάθε τρόπο στην πραγματοποίηση και ολοκλήρωση αυτής της εργασίας. Κατ' αρχήν στα μέλη της τριμελούς εξεταστικής επιτροπής:

Στον Αναπληρωτή Καθηγητή κ. Εμμανουήλ Μανούτσογλου, επιβλέποντα της μεταπτυχιακής διατριβής ειδίκευσης, για την αμέριστη συμπαράσταση που μου έδωσε και τον ατελείωτο χρόνο που μου αφιέρωσε. Η συνεργασία μαζί του με βοήθησε να προάγω την γεωλογική γνώση μου και να αντιληφθώ τους τρόπους με τους οποίους μπορεί να συνδυαστεί με άλλες επιστήμες. Η παρουσία του ήταν αδιάλυπη και συνεχώς με τροφοδοτούσε με προβληματισμούς, γνώσεις και εμπειρίες τόσο στα πλαίσια της παρούσας μεταπτυχιακής μου διατριβής, όσο και εκτός αυτής.

Στους καθηγητές κ.κ. Γεώργιο Εξαδάκτυλο, Διευθυντή του Εργαστηρίου Μελέτης και Σχεδιασμού Εκμεταλλεύσεων και Βασίλη Περδικάτση, Διευθυντή του Εργαστηρίου Ανόργανης Γεωχημίας, Οργανικής Γεωχημίας και Οργανικής Πετρογραφίας που δέχτηκαν να συμμετέχουν στην εξεταστική επιτροπή καθώς επίσης για τις επισημάνσεις τους επί της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας. Η επαφή μας ήταν άμεση καθόλη την διάρκεια των μεταπτυχιακών σπουδών μου.

Στον κ. Σπυρίδωνος Ευάγγελο, για τα στοιχεία γεωστατιστικής δομικής ανάλυσης που μου παρείχε και τις επεξηγήσεις αυτών.

Στον κ. Αλεβίζο Γεώργιο, λέκτορα του τμήματος Μηχανικών Ορυκτών Πόρων για την καθοριστική συμβολή του στην φωτογράφιση των λεπτών τομών.

Στον κ. Σπυριδάκη Νικόλαο, μεταλλειολόγο μηχανικό στο λατομείο Αλτοί για την άψογη συνεργασία που είχαμε κατά τη διάρκεια των επισκέψεων στο λατομείο, για τα στοιχεία της εκμετάλλευσης που μας παρείχε.

Στους προπτυχιακούς φοιτητές του τμήματος Μηχανικών Ορυκτών Πόρων και φίλους Βάχλα Γεώργιο, Δημόπουλο Νίκο, Ταυρή Κώστα και Κιλμπασάνη Σεβαστό για την βοήθεια τους σε ό,τι τους ζήτησα εντός Πολυτεχνείου και στις εργασίες υπαίθρου. Το κλίμα που δημιουργήθηκε στο γραφείο χαρακτηριζόταν από υποστήριξη, συνεργασία και φιλία όλων των μελών. Οι παράγοντες είναι καθοριστικής σημασίας για την εύρυθμη λειτουργία και δημιουργία στο εργαστήριο.

Τέλος, θα ήταν παράληψή μου και μέγιστο ατόπημα μην ευχαριστήσω την φίλη, συνάδελφο και συμφοιτήτρια, από το πρώτο έτος των προπτυχιακών μου σπουδών μέχρι σήμερα, Καραντζή Κατερίνα για την αμέριστη υποστήριξη και την αδιάλειπτη βοήθειά της σε όλα τα επίπεδα.

Εισαγωγή

Οι εβαπορίτες είναι χημικά ιζηματογενή πετρώματα που αποτίθενται σε ιζηματογενείς λεκάνες από ρευστά πλούσια σε διαλελυμένα άλατα. Ο εμπλουτισμός των ρευστών σε άλατα οφείλεται στην εξάτμιση. Πολλά εβαποριτικά πετρώματα αποτελούν χρήσιμα συστατικά στην παραγωγή γεωργικών λιπασμάτων, στην κατασκευαστική βιομηχανία, στην χημική βιομηχανία και στην βιομηχανία τροφίμων. Συγκεκριμένα, η γύψος χρησιμοποιείται στην γεωργία ως βελτιωτικό εδαφών, στα τοιμέντα Πόρτλαντ για την επιβράδυνση του χρόνου πήξης, στους πολφούς των γεωτρήσεων πετρελαίου, ως πληρωτικό σε χρώματα και στην κατασκευή χαρτιού. Αποτελεί πηγή παραγωγής χημικών προϊόντων όπως θειικού οξέως και θειικού αμμωνίου. Όμως, οι μεγαλύτερες ποσότητες γύψου, υπό την μορφή του ημιυδρίτη, χρησιμοποιούνται σε πολλών ειδών κονιάματα και για γυψοσανίδες-γυψόπλακες. Ο ανυδρίτης, που αποτελεί τον κύριο όγκο των περισσότερων κοιτασμάτων, έχει τις ίδιες χρήσεις με την γύψο, εκτός από αυτές όπου η γύψος χρησιμοποιείται σε μορφή ημιυδρίτη.

Όμως πέραν των χρήσεών τους, οι εβαπορίτες αποτελούν αντικείμενο εντατικών ερευνών της πετρελαϊκής βιομηχανίας εξαιτίας της παγκόσμιας εξάπλωσής τους, με το μέγιστο της εμφάνισής τους στις περιθωριακές θάλασσες λεκάνες της Τηθύος κατά το Περμοτριάδικό. Ο λόγος της σημαντικότητάς τους έγκειται στο γεγονός ότι χαρακτηρίζονται από μικρό πορώδες που σε συνδυασμό με όλες εκείνες τις μηχανικές ιδιότητες, που τους επιτρέπουν μια ιδιότυπη μορφοτεκτονική εξέλιξη (αλατοκίνηση-διαπείρισμός), τους καθιστούν πετρώματα μόνωσης σε πετρελαϊκές παγίδες.

Η έκταση του κοιτάσματος στο Αλτοί, επαρχία Σητείας, στην ανατολική Κρήτη είναι 1.250 στρέμματα και η διαχρονική αντίληψη για την δομή του κοιτάσματος αυτού είναι ότι αποτελείται από έναν πυρήνα ανυδρίτη, ο οποίος στο ανώτερο επιφανειακό τμήμα του έχει μετατραπεί σε γύψο. Στο συγκεκριμένο κοιτάσμα δραστηριοποιούνται σήμερα τρεις εταιρίες. Η εξορυκτική δραστηριότητα στο κοιτάσμα άρχισε την δεκαετία του 1950, σε μικρές παραθαλάσσιες εκμεταλλεύσεις μέσα στον ομώνυμο όρμο. Η μεταφορά των υλικών στα εργοστάσια τοιμέντου γινόταν με καΐκια, που αγκυροβολούσαν μέσα στον όρμο και φόρτωναν μικρούς όγκους γύψου, που οι εργάτες φόρτωναν σε βάρκες και στην συνέχεια κωπηλατούσαν μέχρι τα καΐκια. Στην δεκαετία του 1960 η εκμετάλλευση άρχισε να

γίνεται με μηχανικά μέσα και καθοριστική ήταν η εξόφληση του κοιτάσματος γύψου στην περιοχή «κάβο Σίδερο» (στο ανατολικό ακρωτήριο της Κρήτης), που ανάγκασε τον αποκλειστικό προμηθευτή της τσιμεντοβιομηχανίας ΗΡΑΚΛΗΣ να μεταφερθεί στο κοιτάσμα του Αλτσι.

Στην ίδια περίπου εποχή ο Μ. ΜΑΣΣΑΡΟΣ, που είχε μικρή εκμετάλλευση μέσα στον όρμο και ήταν αποκλειστικός προμηθευτής της τσιμεντοβιομηχανίας ΤΙΤΑΝ μετακινείται στην σημερινή θέση λειτουργίας του λατομείου γύψου του Ομίλου ΤΙΤΑΝ ΑΕ, αγοράζει γυψοφόρες εκτάσεις ή εξασφαλίζει δικαιώματα εκμετάλλευσης και χρήσης, εγκαθιστά ντιζελοκίνητη γεννήτρια για την λειτουργία σπαστήρα, διαμορφώνει στην απόκρημνη παραλία χώρο συγκέντρωσης του θραυσμένου υλικού, διαμορφώνει μια υποτυπώδη σκάλα φόρτωσης πλοίων με την εγκατάσταση μιας ντιζελοκίνητης μεταφορικής ταινίας και δημιουργεί μια εκμετάλλευση δυναμικότητας 50.000 τόνων περίπου. Στο τέλος της δεκαετίας του 1960 τροφοδοτείται με ηλεκτρικό ρεύμα η περιοχή, ο σπαστήρας μεταφέρεται κοντά στο κοιτάσμα, η παραγωγή του μεταφέρεται με αυτοκίνητα σε χώρο συγκέντρωσης στο χείλος της απόκρημνης ακτής και δημιουργείται το σύστημα φόρτωσης πλοίων στην τελική θέση λειτουργίας. Η δυναμικότητα της μονάδας αυξάνεται στους 100.000 τόνους περίπου.

Ο Όμιλος ΤΙΤΑΝ ΑΕ με την μορφή της θυγατρικής εταιρίας ΕΛΜΜΕ ΑΕ αγοράζει το 1981 την ιδιοκτησία και την εκμετάλλευση ΜΑΣΣΑΡΟΥ και αυξάνει τα αποθέματα γύψου με την αγορά όμορης γυψοφόρου έκτασης. Το 1988 ενοικιάζει όμορη γυψοφόρο έκταση, η οποία εντάσσεται μέσα στον σχεδιασμό της εκμετάλλευσης και αυξάνονται ακόμη περισσότερο τα εκμεταλλεύσιμα αποθέματα γύψου. Με βελτιώσεις στον κινητό μηχανολογικό εξοπλισμό λειτουργεί την εκμετάλλευση μέχρι το 1989, οπότε το συγκρότημα θραύσης εκσυγχρονίζεται και μεταφέρεται στον χώρο συγκέντρωσης του θραυσμένου γύψου, ο οποίος σταδιακά διευρύνεται και αποκτά χωρητικότητα 15000 τόνων περίπου, το σύστημα φόρτωσης πλοίων αναμορφώνεται και γίνεται αποδοτικότερο και ασφαλέστερο, ενώ ολόκληρος ο κινητός μηχανολογικός εξοπλισμός ανανεώνεται, μεγεθύνεται και σταδιακά εκσυγχρονίζεται. Το 1994 τέλος δημιουργείται η θυγατρική εταιρία του Ομίλου ΤΙΤΑΝ η ΙΝΤΕΡΜΠΕΤΟΝ ΔΟΜΙΚΑ ΥΛΙΚΑ ΑΕ, η οποία απορροφά μαζί με άλλες θυγατρικές εταιρίες και την ΕΛΜΜΕ ΑΕ.

Σήμερα η δυναμικότητα της εκμετάλλευσης είναι περίπου 300.000 τόνοι ανά έτος, φορτώνονται πλοία χωρητικότητας μέχρι 3.000 τόνων και εργάζονται 14

εργαζόμενοι διαφόρων ειδικοτήτων. (Μεταλλειολόγος Μηχανικός Σπυριδάκης Νικόλαος, προσωπική επικοινωνία).

Η παρούσα διατριβή περιορίζεται στο τμήμα του κοιτάσματος όπου δραστηριοποιείται η εταιρία «Ιντερμπιτόν». Η μελέτη του κοιτάσματος σχετίζεται με την γεωστατιστική επεξεργασία γεωχημικών δεδομένων γεωτρήσεων και σημειακών δειγμάτων. Η επεξεργασία αυτή συνδυάζεται με γεωλογική χαρτογράφηση των τεχνιτών πρανών του λατομείου και με την πετρογραφική μελέτη των χαρακτηριστικών λιθολογικών εμφανίσεων. Σκοπός είναι να προταθούν γεωτρητικά προγράμματα που θα αποτελέσουν πηγή νέων στοιχείων χρήσιμων για την απρόσκοπτη λειτουργία του λατομείου σε βάθος χρόνου.

Η δομή της διατριβής έχει ως εξής: Στο πρώτο κεφάλαιο αναπτύσσονται τα βασικά χαρακτηριστικά των εβαποριτικών αποθέσεων. Αναφέρονται στοιχεία που αφορούν την απόθεση εβαποριτών, την ταξινόμησή τους, τις μεταβολές τους από την πρωτογενή μορφή τους και για τον διαπείρισμό τους. Ειδική αναφορά γίνεται για την διαδικασία αμφίδρομης μετατροπής γύψου-ανυδρίτη. Η κατανόηση του αποθετικού παλαιοπεριβάλλοντος του εβαπορίτη καθώς και των πιθανών μεταβολών που υπέστη μετά την απόθεσή του, αποτελεί σημαντική προϋπόθεση για την γεωλογική έρευνα, που οδηγεί στην εξαγωγή συμπερασμάτων που αφορούν στην έκταση της απόθεσης στον χώρο και στα ποιοτικά χαρακτηριστικά του.

Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στο γεωλογικό καθεστώς του κοιτάσματος. Παρατίθεται η ιστορική αναδρομή των απόψεων που αφορούν στην γεωλογία του κοιτάσματος στο Αλτσι και στην σύνδεση του συγκεκριμένου κοιτάσματος με όλες τις εβαποριτικές εμφανίσεις στο νησί της Κρήτης.

Στο τρίτο κεφάλαιο αναφέρονται οι βασικές αρχές της προσομοίωσης.

Στο τέταρτο κεφάλαιο περιγράφονται οι εργασίες που εκτελέστηκαν για την συλλογή γεωλογικών και γεωχημικών δεδομένων από τον λατομικό χώρο στο Αλτσι και η διαδικασία επεξεργασίας τους με το λογισμικό «Rock Works 2006» για την κατασκευή χωρικών κατανομών των θεικών αποθέσεων του λατομείου.

Στο τελευταίο κεφάλαιο αναφέρονται τα βασικά συμπεράσματα που προκύπτουν από τον συνδυασμό όλων των διαθέσιμων στοιχείων. Πάνω στα συμπεράσματα αυτά στηρίζονται οι τελικές προτάσεις γεωτρήσεων.

Κεφάλαιο 1 : Εβαπορίτες

1.1 Γενικά στοιχεία

Οι εβαπορίτες είναι πετρώματα που σχηματίστηκαν από την απόθεση αλάτων από υδατικά διαλύματα καθώς το νερό απομακρύνεται και η συγκέντρωση των ιόντων γίνεται μεγαλύτερη. Σύμφωνα με τον Warren (1999) οι εβαπορίτες είναι τα πέτρωματα που σχηματίστηκαν από κορεσμένα αλμόλουπα (αλατοπεριεκτικότητα > 50%) που βρίσκονταν πάνω στην επιφάνεια ή κοντά σε αυτή και ο σχηματισμός τους οφείλεται στην ηλιακή εξάτμιση. Αυτός ο ορισμός περικλείει ένα μεγάλο εύρος χημικά αποτιθέμενων αλάτων και περιλαμβάνει και τα αλκαλικά ανθρακικά πετρώματα. Άλλοι ερευνητές περιορίζουν τον όρο «εβαπορίτης» σε αυτά τα άλατα που σχηματίστηκαν από την εξάτμιση υπεραλατούχων υδάτων που βρίσκονταν μόνο πάνω στην επιφάνεια. Το εκάστοτε εβαποριτικό ορυκτό που θα αποτεθεί εξαρτάται από τον βαθμό κορεσμού του αλμόλουπου σε συγκεκριμένα ιόντα. Για παράδειγμα, στην περίπτωση που το αλμόλουπο είναι κορεσμένο σε SO_4^{2-} και Ca^{+2} θα αποτεθεί ανυδρίτης (CaSO_4) ή γύψος ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), ενώ όταν είναι κορεσμένο σε Na^+ και Cl^- αποτίθεται αλίτης (NaCl).

Σύμφωνα με τους ορισμούς και υπό την στενή τους έννοια, οι εβαπορίτες πρέπει να σχηματίζονται μόνο στην επιφάνεια ή και πολύ κοντά στην επιφάνεια. Παρόλα αυτά, υπάρχουν και εβαπορίτες που σχηματίζονται διαγενετικά σε μεγαλύτερα βάθη ταφής και συνδέονται με άλλες διαδικασίες, όπως θα αναλυθεί παρακάτω. Με την βύθισή τους οι εβαπορίτες διαλύονται ή μεταλλάσσονται λόγω της επαφής τους με ρευστά και αλμόλουπα της ενεργής φρεάτιας ζώνης ή με ρευστά και αλμόλουπα προερχόμενα από διαδικασίες που λαμβάνουν χώρα μέσα στην λεκάνη εκτός της ενεργής φρεάτιας ζώνης.

Οι εβαπορίτες σύμφωνα με τις αλλαγές που έχουν υποστεί στην πρωτογενή τους δομή και σύσταση, μπορούν να διαχωριστούν ως ακολούθως (Warren, 1999):

- ❖ **Πρωτογενείς εβαπορίτες.** Σχηματίζονται από αλμόλουπα λόγω εξάτμισης σε κανονικές θερμοκρασίες.
- ❖ **Δευτερογενείς εβαπορίτες.** Αποτελούν το μεγαλύτερο ποσοστό των παλιών εβαποριτικών αποθέσεων και διαχωρίζονται σε τρεις υποκατηγορίες:

1. Υποεπιφανειακή απόθεση αλάτων ελάχιστου βάθους. Η αιτία δημιουργίας τους εξακολουθεί να είναι η επίδρασης της ηλιακής ακτινοβολίας (Sabkha κόνδυλοι).
2. Εβαπορίτες που έχουν επηρεαστεί από την διαγένεση. Τα αρχικά εβαποριτικά ορυκτά αντικαθίστανται μερικώς από άλλες ορυκτολογικές φάσεις.
3. Υποεπιφανειακή εβαποριτική απόθεση με την μορφή συγκολλητικής ύλης ή αντικατάστασης μη εβαποριτικών υλικών.

❖ **Τριτογενείς εβαπορίτες.** Σχηματίζονται κατά την άνοδό των δευτερογενών εβαποριτών που είχαν βρεθεί σε μεγάλα βάθη, οπότε έρχονται σε επαφή με αλμόλουπα που είναι εμπλουτισμένα με διαλυμένο υλικό από την διάλυση προϋπαρχόντων εβαποριτικών στρώσεων. Η διαδικασία αυτή πραγματοποιείται στις ζώνες φρεάτιας κυκλοφορίας των ρευστών (phreatic circulation zone). Οι εβαπορίτες αυτοί έχουν υποστεί σημαντικές αλλαγές στην δομή τους, καταστρέφοντας σχεδόν εξ' ολοκλήρου τα πρωτογενή χαρακτηριστικά τους.

Με γνώμονα την σειρά απόθεσης των εβαποριτικών ορυκτών από αλμόλουπα των οποίων η συγκέντρωση αυξάνεται σταδιακά λόγω συνεχόμενης εξάτμισης, τα εβαποριτικά ορυκτά μπορούν να υποδιαιρεθούν σε δύο κύριες ομάδες (Warren, 1999):

- ❖ **Εβαποριτικά ανθρακικά ορυκτά** (αραγωνίτης, δολομίτης, ασβεσίτης με χαμηλό περιεχόμενο σε μαγνήσιο και ασβεσίτης με υψηλό περιεχόμενο σε μαγνήσιο).
- ❖ **Εβαποριτικά άλατα** (γύψος, ανυδρίτης, αλίτης, σουλβίνης, καρναλίτης, κ.α.).

Τα πρωτογενή εβαποριτικά ανθρακικά ορυκτά τείνουν να σχηματίζονται στα πρώτα στάδια συγκέντρωσης του αλμόλουπου, ενώ τα πρωτογενή εβαποριτικά άλατα σχηματίζονται όταν η αλατότητα γίνει υψηλότερη. Συγκεκριμένα, τα εβαποριτικά ανθρακικά σχηματίζονται από αλμόλουπα με ποσοστά αλατότητας 35-140‰. Αυτό μεταφράζεται ως απώλεια νερού, λόγω εξάτμισης σε μια κλειστή λεκάνη (δηλαδή λεκάνη όπου δεν παρατηρείται εισροή και εκροή ρευστού), της τάξης του 0-75%. Τα εβαποριτικά άλατα αποτίθενται από αλμόλουπα των οποίων η αλατότητα φτάνει 140-250‰, με απώλεια νερού από εξάτμιση 75-85%. Αυτές οι αποθέσεις, επομένως,

προϋποθέτουν την ύπαρξη ξηρού ως ημίξηρου κλίματος και την απώλεια ρευστού από εξάτμιση σε μεγαλύτερα ποσοστά από αυτά που εισρέουν στην λεκάνη σχηματισμού τους. Με βάση το συμπέρασμα αυτό, οι παλιές εβαποριτικές αποθέσεις αποτελούν σημαντικούς παλαιοκλιματικούς δείκτες. Επίσης, τα εβαποριτικά ανθρακικά μπορεί να περιέχουν και να διατηρούν αυξημένο οργανικό υλικό που τα καθιστά πιθανά μητρικά πετρώματα παραγωγής υδρογονανθράκων ή να δράσουν ως αναγωγικό μέσο. Σε αντίθεση, τα εβαποριτικά άλατα δεν παρουσιάζουν οργανικό περιεχόμενο.

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, σε μια λεκάνη όπου η αλατότητα του νερού αυξάνεται σταδιακά λόγω εξάτμισης, πρώτα αποτίθενται τα εβαποριτικά ανθρακικά και κατόπιν τα εβαποριτικά άλατα. Το απαραίτητο υδρολογικό καθεστώς για την δημιουργία τους είναι το ποσοστό του εξατμιζόμενου νερού να υπερβαίνει το ποσοστό του νερού που εισέρχεται στην λεκάνη. Αυτό το καθεστώς δημιουργεί δύο χαρακτηριστικά και των δύο τύπων αποθέσεων. Πρώτον, οι συνεχόμενες αλλαγές στη στάθμη του νερού, κυρίως στα πιο περιφερειακά τμήματα της λεκάνης, εξηγούν τις εναλλαγές χερσαίων (παράκτιων) ενότητων με τις ενότητες που σχηματίστηκαν κάτω από την στάθμη του νερού (υδατικές ενότητες). Δηλαδή, κάθε εβαποριτικός σχηματισμός (υδατική ενότητα) όταν χερσεύει θα υπόκειται σε αποσάθρωση και διαγένεση, δημιουργώντας χαρακτηριστικά χερσαίας απόθεσης. Δεύτερον, το διαλυμένο περιεχόμενο των ρηχών αλμολοιπών, κυρίως το ποσοστό Mg^{+2}/Ca^{+2} , μεταβάλλεται καθώς μεταβάλλεται και η αλατότητα. Για παράδειγμα, το περιεχόμενο σε Ca^{+2} κάθε αλμόλοιπου μειώνεται καθώς σχηματίζεται καθαρός ασβεστίτης ή ασβεστίτης με χαμηλό περιεχόμενο σε Mg^{+2} . Τα επόμενα ανθρακικά που θα καθιζήσουν από το αλμόλοιπο, που έχει πλέον αυξημένο λόγο Mg^{+2}/Ca^{+2} , θα κυριαρχούνται από ασβεστίτη υψηλού περιεχομένου σε Mg, μαγνησίτη ή ακόμα και δολομίτη.

Η λεκάνη στην οποία πραγματοποιείται η απόθεση των εβαποριτικών ορυκτών μπορεί να βρίσκεται είτε σε πράκτια περιοχή (π.χ. λιμνοθάλασσα), είτε ενδοηπειρωτικά (π.χ. λίμνες). Στην πρώτη περίπτωση οι εβαπορίτες που προκύπτουν θεωρούνται θαλάσσιας προέλευσης και στην δεύτερη ηπειρωτικής. Οι διαφορές τους βρίσκονται στο διαφορετικό περιβάλλον απόθεσης και στην διαφορετική σύσταση του αλμολοιπού από το οποίο προέρχονται. Επειδή οι θαλάσσιοι εβαπορίτες προέρχονται από θαλασσινό νερό με λίγο ως πολύ σταθερή σύσταση, τα χημικά τους χαρακτηριστικά μπορούν να προβλεφθούν μέχρι κάποιο σημείο. Τα άλατα Na_2CO_3

που βρίσκονται συνήθως σε λιμναίους εβαπορίτες απουσιάζουν από τα άλατα θαλάσσιας προέλευσης. Αντίθετα, τα άλατα καλίου όταν συνδέονται με άλατα που περιέχουν σημαντικές ποσότητες $MgSO_4$ υποδεικνύουν μόνο θαλάσσια προέλευση.

1.1.1 Ηπειρωτικοί εβαπορίτες

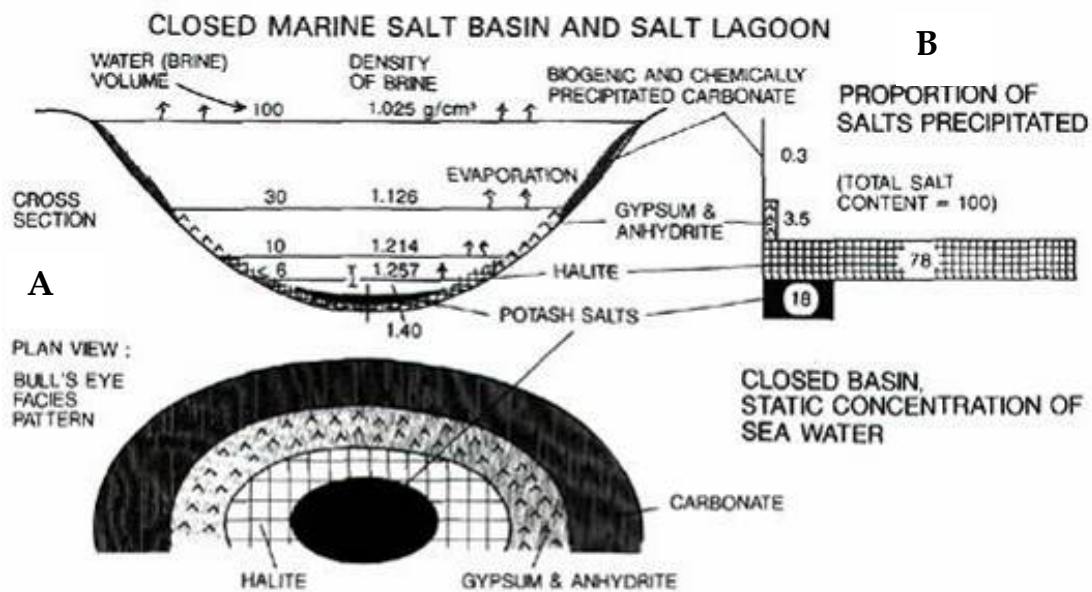
Σε κλειστά λιμναία συστήματα που αναπτύσσονται κυρίως σε περιοχές ξηρού και ημίξηρου κλίματος και η ποσότητα του νερού που εξατμίζεται είναι μεγαλύτερη από την ποσότητα του εισρεόμενου νερού παρατηρείται σχηματισμός εβαποριτικών ορυκτών. Ο τύπος των εβαποριτικών ορυκτών που σχηματίζονται, εξαρτάται από την λιθολογία της λεκάνης απορροής (ηφαιστειακά ή ιζηματογενή πετρώματα). Στις κλειστές λιμναίες λεκάνες διακρίνονται δύο ειδών διαδικασίες συγκέντρωσης:

1. Μείωση του όγκου του νερού της λίμνης εξαιτίας εξάτμισής του σε μεγαλύτερη ποσότητας από την ποσότητα νερού που εισρέει στην λίμνη από ποταμούς ή βροχοπτώσεις. Ως αποτέλεσμα, η λίμνη συρρικνώνεται ως και ξηραίνεται και σχηματίζεται περιβάλλον Sabkha. Η διαδικασία αυτή χρειάζεται σχετικά λίγο χρόνο. Τα αποτιθέμενα εβαποριτικά ορυκτά αντικατοπτρίζουν την ποσότητα και το είδος των διαλελυμένων αλάτων που περιείχε το νερό της λίμνης.
2. Ο όγκος του νερού της λίμνης παραμένει, λίγο ως πολύ, σταθερός. Όμως, η αλατότητα του νερού αυξάνει σταδιακά λόγω της ποτάμιας εισροής διαλελυμένων αλάτων.

1.1.2 Θαλάσσιοι εβαπορίτες

Το κανονικό θαλασσινό νερό έχει πυκνότητα $1,025 \text{ g/cm}^3$ και περιέχει περίπου 35 g/l διαλελυμένων συστατικών. Αυτά τα συστατικά μπορούν θεωρητικά να σχηματίζουν τα ακόλουθα (χωρίς νερό στη δομή τους) άλατα (σε %κ.β. του ολικού περιεχομένου σε άλατα, Εικόνα 1-1):

- ❖ 78% $NaCl$ (αλίτης)
- ❖ 18% άλατα καλίου, πχ. χλωριούχα και θειικά του K και Mg (σουλβίνης KCl , καρναλίτης $MgCl_2 \cdot KCl \cdot 6H_2O$, κιζερίτης $MgSO_4 \cdot H_2O$, κ.α.)
- ❖ 3,5% $CaSO_4$ (Γύψος και ανυδρίτης)
- ❖ 0,3% ανθρακικά

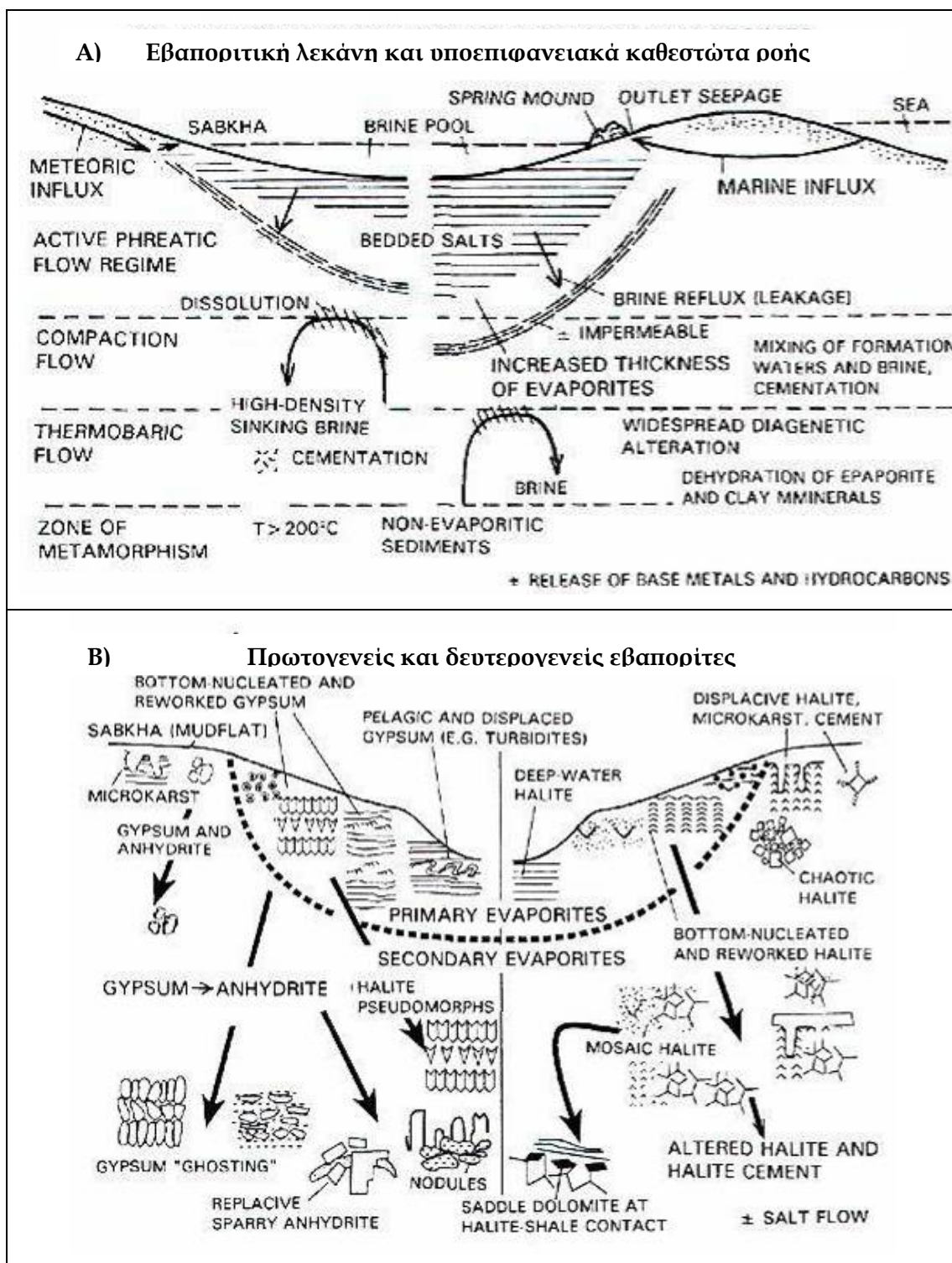


Εικόνα 1-1: Γενικό μοντέλο απόθεσης εβαποριτών. Α) Κλειστή λεκάνη με «στατική» συγκέντρωση θαλασσινού νερού και κατανομή με μορφή «bull's eye». Στην λεκάνη αυτή δεν παρατηρείται εισροή και εκροή υδάτων. Β) Αναλογίες διαφορετικών εβαποριτικών αποθέσεων υπό συνθήκες όπως στο Α.

1.2 Διαγένεση εβαποριτών

Οι πρωτογενείς εβαποριτικές αποθέσεις επηρεάζονται έντονα από την διαγένεση. Η διαγένεση έχει ως αποτέλεσμα την καταστροφή ή αντικατάσταση των πρωτογενών ορυκτών και δομών, και την δημιουργία νέων. Με αυτόν τον τρόπο οι πρωτογενείς εβαποριτές μετατρέπονται σε δευτερογενείς και τριτογενείς, όπως αναφέρθηκαν στην αρχή του κεφαλαίου. Οι διαδικασίες που σχετίζονται με τα προηγούμενα είναι:

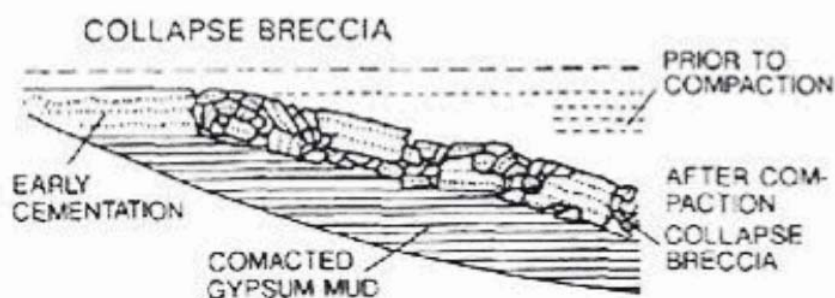
1. Συγκόλληση
2. Αντικατάσταση προϋπαρχόντων ορυκτών
3. Υποεπιφανειακή διάλυση
4. Αλλαγή των φάσεων των ορυκτών και απελευθέρωση νερού



Εικόνα 1-2 A) Καθεστώτα υποεπιφανειακής ροής κάτω από μια εβαποριτική λεκάνη. Δεξιό τμήμα: αύξηση πάχους εβαποριτών (π.χ. εξαιτίας της υποεπιφανειακής διάλυσης αλάτων) και δημιουργία προς τα βαθύτερα αδιαπέρατου στρώματος. B) Πρωτογενείς και δευτερογενείς εβαπορίτες του συστήματος γύψου-ανυδρίτη (αριστερό τμήμα) και του συστήματος αλίτη (δεξιό τμήμα). (από Einsele, 2000, κατά Warren, 1997)

Επιπλέον, η διαγένεση καθορίζεται από το καθεστώς ροής των ρευστών που επικρατεί στα διαφορετικά βάθη. Τέτοια καθεστώτα είναι τα ακόλουθα (Εικόνα 1-2 Α):

1. Ροή στην ενεργή φρεατική ζώνη του μετεωρικού νερού ή του αλμόλουπου. Η ροή αυτή πραγματοποιείται μέσα και κάτω από τις πρωτογενείς εβαποριτικές αποθέσεις.
2. Ροή του νερού των πόρων των ιζημάτων που προέρχεται από την αποβολή του από τα ιζήματα λόγω συμπίεσης. Η μηχανική συμπίεση των εβαποριτών είναι σημαντική και μπορεί να επιφέρει μεγάλες αλλαγές στα πάχη των εβαποριτικών αποθέσεων. Η διαφορική συμπίεση των αποθέσεων θεικού ασβεστίου, που είναι μερικώς συμπαγοποιημένες, μπορεί να αποτελέσει μια από τις διαδικασίες δημιουργίας λατυποπαγούς κατάρρευσης (collapse breccias, Εικόνα 1-3). Κατά τη ροή τους τα ρευστά μπορούν να διαλύσουν προϋπάρχοντα εβαποριτικά ορυκτά, να τροποποιήσουν παλιότερα ιζήματα και να αποθέσουν νέα ορυκτά ως υλικά συγκόλλησης. Η διάλυση αφήνει πίσω διάφορα προϊόντα, όπως εβαποριτικά λατυποπαγή διάλυσης, ραουβάκες, πυριτιωμένους και ασβεστιωμένους εβαποριτικούς κονδύλους. Η αντίδραση των ρευστών με τα ιζήματα μπορεί να προκαλέσει, για παράδειγμα, την δολομιτίωση ασβεστιτικού υλικού ή την ασβεστίωση δολομιτοποιημένων στρώσεων.



Εικόνα 1-3: Λατυποπαγή κατάρρευσης που προκλήθηκαν από πρόωμη συγκόλληση των ανώτερων στρωμάτων και την επακόλουθη διαφορική συμπίεση (Einsele, 2000).

3. Θερμοβαρυντική ροή που προκαλείται από τις διαφορετικές πιέσεις και τροφοδοτείται από την αφυδάτωση των εβαποριτικών και αργιλικών ορυκτών. Με την μερική αύξηση της θερμοκρασίας και της πίεσης εντείνεται η αλλαγή φάσης αρκετών εβαποριτικών ορυκτών. Τα αργιλλικά και τα ένυδρα ορυκτά αποβάλλουν νερό και τροφοδοτούν ένα σύστημα ροής που

κατευθύνεται αρχικώς προς τα πάνω. Η πρωτογενής γύψος μετατρέπεται σε ανυδρίτη σε θερμοκρασίες μεταξύ 35-45 °C, στην περίπτωση που τα ρευστά των πόρων προσεγγίζουν τον κορεσμό σε αλίτη. Στην περίπτωση που η συγκέντρωση των ρευστών είναι μικρότερη, τότε η μετατροπή της γύψου σε ανυδρίτη απαιτεί θερμοκρασίες μεταξύ 50-60 °C και βάθη ταφής μερικών εκατοντάδων μέτρων. Ο καρναλλίτης απελευθερώνει Mg^{+2} και νερό κατά την μετατροπή του σε συλβίνη σε θερμοκρασίες 40-50 °C. Ο πολυαλίτης και ο κιζερίτης μετατρέπονται σε άλλα ορυκτά σε μεγαλύτερες θερμοκρασίες. Σε όλες τις περιπτώσεις, απελευθερώνεται νερό που αν δεν βρει διεξόδους ροής, τότε προκαλεί αύξηση της πίεσης των πόρων και την επακόλουθη παραμόρφωση των περιβαλλόντων σχηματισμών. Τέτοιες παραμορφώσεις αποτελούν οι μικρές διαπειρικές δομές των θεικών αποθέσεων.

4. Ρευστά πόρων στην ζώνη της μεταμόρφωσης ($T > 200^{\circ}C$).

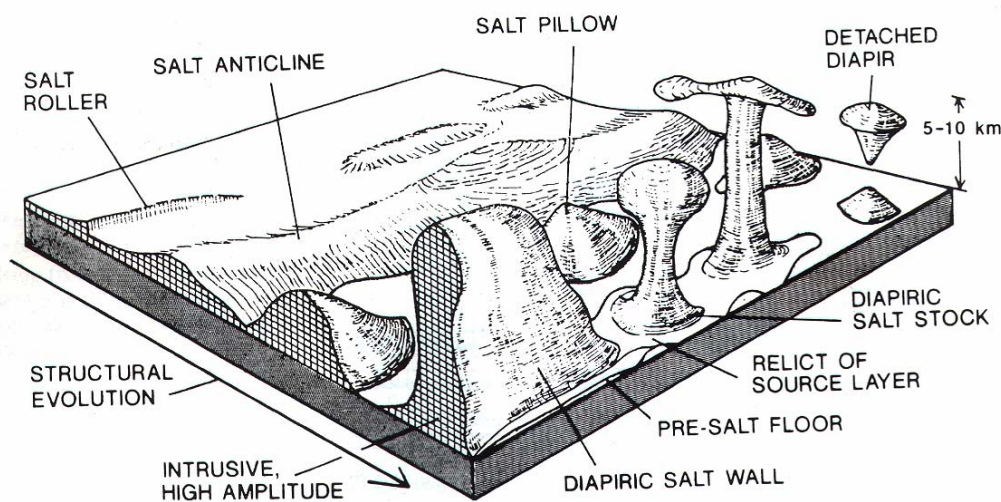
Εκταφιασμός βυθισμένων εβαποριτών

Η άνοδος και η διάβρωση (εκταφιασμός) των εβαποριτών που έφτασαν σε μεγάλα βάθη, οδηγεί σε περαιτέρω αλλαγές των εβαποριτικών αποθέσεων. Εφόσον κατά την άνοδό τους έρθουν σε επαφή με νερό, τότε τα πιο ευδιάλυτα άλατα διαλύονται. Αυτό μπορεί να πραγματοποιηθεί σε βάθη μερικών εκατοντάδων μέτρων, στην βαθιά φρεάτια ζώνη. Επίσης, ο ανυδρίτης προσλαμβάνει νερό και μετατρέπεται σταδιακά σε αδρομερή-πορφυροβλαστική ή λεπτοκοκκώδη-αλαβάστρινη γύψο. Αυτή η διαδικασία προκαλεί τη διόγκωση του σχηματισμού και την διάρρηξή του. Οι προκύπτουσες ασυνέχειες πληρώνονται με ινώδη γύψο ή ινώδη αλίτη που αποτίθενται από το περιβάλλον κορεσμένο αλμόλοιπο. Κατά την άνοδο και πιο κοντά στην πιεζομετρική επιφάνεια, όπου κυκλοφορεί πλέον και μετεωρικό νερό, κυριαρχεί η διάλυση των εβαποριτών, όπως για παράδειγμα η καρστικοποίηση των θεικών. Από το σημείο αυτό και πέρα, ο όγκος των θεικών που διαλύεται είναι μεγαλύτερος από τον όγκο που χρειάζεται η μετάβαση του ανυδρίτη σε γύψο (ενυδάτωση ανυδρίτη).

1.3 Διαπειρισμός εβαποριτών

Πολλές παλιές, παχιές και εκτεταμένες αποθέσεις εβαποριτών που βρίσκονται θαμένες κάτω από κλαστικά και ανθρακικά ιζήματα, εμφανίζουν ιδιαιτέρως ανώμαλες γεωμετρίες (Εικόνα 1-4). Αυτές οι μεγάλης κλίμακας, μετά-αποθετικές δομές αναφέρονται ως «δομές αλάτων», και ο μηχανισμός που τις προκαλεί καλείται «τεκτονική αλάτων» ή «αλατοκίνηση». Ένα γενικό συμπέρασμα για τις αρχικές αποθέσεις αλάτων είναι ότι είχαν σχετικά ομοιόμορφο πάχος και οριζόντια στρώση.

Οι δομές αλάτων προκύπτουν από μη τεκτονικές και από τεκτονικές διαδικασίες. Οι μη τεκτονικές διαδικασίες αφορούν την συμπεριφορά των αλάτων υπό την φόρτιση των υπερκείμενων ιζημάτων διαφορετικού πάχους και πυκνότητας. Οι τεκτονικές διαδικασίες τροποποιούν σε μεγάλο βαθμό τις μη τεκτονικές δομές των αλάτων. Όπως θα αναφερθεί παρακάτω με περισσότερες λεπτομέρειες, τέτοιες τεκτονικές διαδικασίες αποτελούν για παράδειγμα η ρηγμάτωση των υποκείμενων πετρωμάτων, η διαστολή ή η σύγκλιση ιζηματογενών πετρωμάτων που περιέχουν εβαπορίτες, ή η επώθηση στρώσεων που περιέχουν εβαπορίτες και βρίσκονται στην προχώρα των ορογενετικών ζωνών.



Εικόνα 1-4: Κύριοι τύποι δομών αλάτων και η δομική τους εξέλιξη, από αριστερά προς τα δεξιά. (από Einsele, 2000, κατά Jackson και Talbot, 1986)

Οι δόμοι αλάτων και άλλες δομές αλάτων εξηγούνται ως το αποτέλεσμα της άνωσης, όπου άλατα με μικρή πυκνότητα υπόκεινται στρωμάτων με μεγαλύτερη πυκνότητα. Τα άλατα τείνουν να ρέουν προς τα πάνω διαμέσου των υπερκείμενων ιζημάτων (αλατοκίνηση άνωσης). Σε αυτήν την περίπτωση το βάθος ταφής των

αλάτων θα πρέπει να είναι τουλάχιστον 900 με 1200m, διαφορετικά τα υπερκείμενα πετρώματα δεν φτάνουν στην απαραίτητη πυκνότητα για την διαδικασία αυτή. Επιπλέον, κάποιες ανωμαλίες των υπερκειμένων (αλατοκίνηση λόγω διαφορεικής φόρτισης) μπορούν να προκαλέσουν δημιουργία δόμων και ταπεινώση επιφανειών. Αυτός ο μηχανισμός δεν εξαρτάται άμεσα από την πυκνότητα των υπερκειμένων και επομένως μπορεί να προκληθεί σε μικρότερα βάθη ταφής (ως και 100m). Η συνδιαστική δράση και των δύο μηχανισμών, άνωση και διαφορεική φόρτιση, καθώς και η επίδραση ρηγμάτων διαστολής στην διευκόλυνση ανόδου των αλάτων επεξηγείται στις επόμενες παραγράφους.

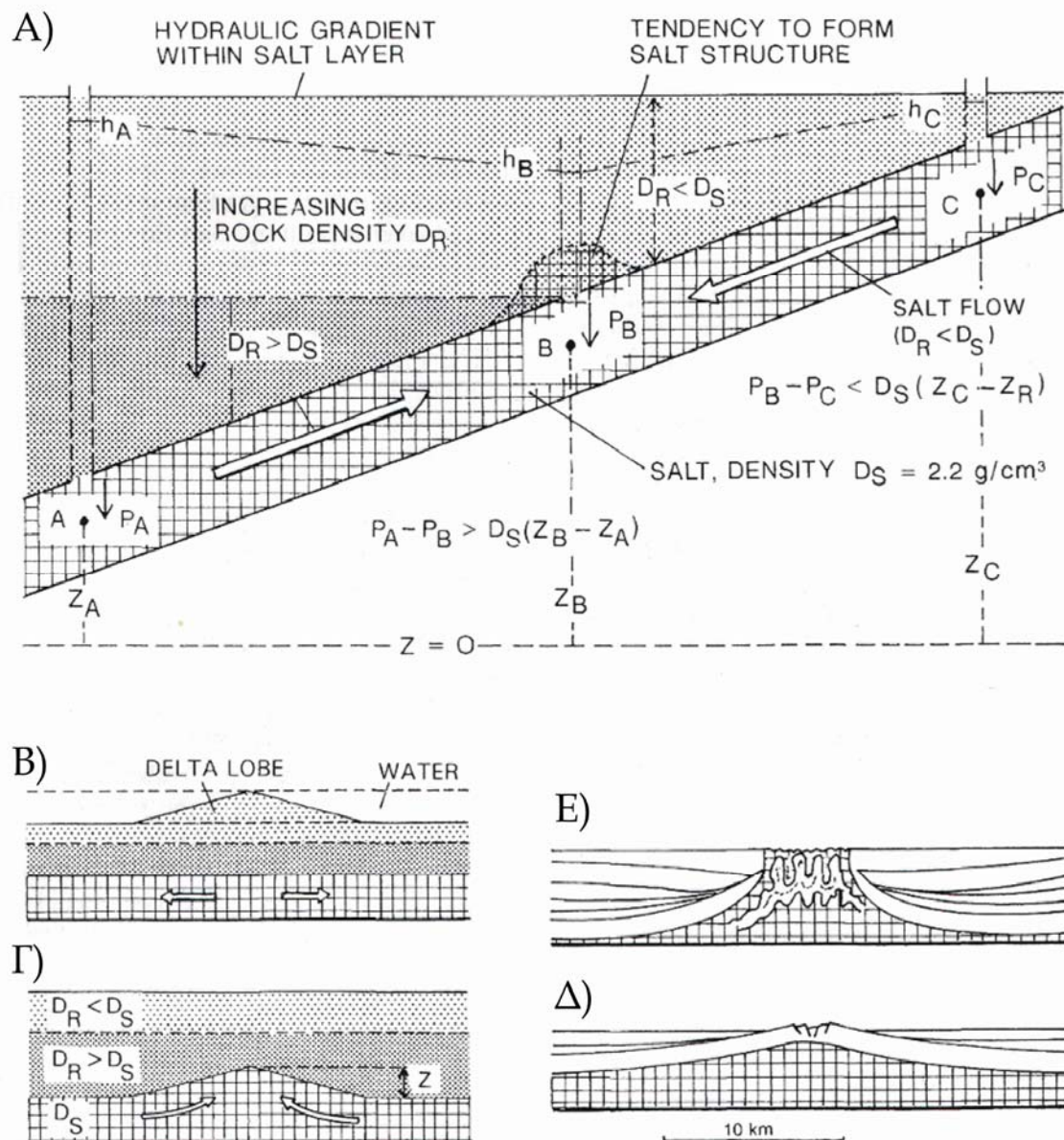
Μηχανισμοί ροής αλάτων

Τα εβαποριτικά πετρώματα συμπεριφέρονται ως βισκοελαστικά ρευστά. Εξαιτίας της βισκοελαστικής του φύσης, η ροή του άλατος πραγματοποιείται μόνο όταν η διαφορεική πίεση ή τάση ξεπεράσει το ελαστικό όριο του άλατος. Η ροή του άλατος συμβαίνει πάντα κατά την διεύθυνση της μέγιστης υδραυλικής βαθμίδας, για παράδειγμα από την περιοχή με το υψηλότερο υδραυλικό φορτίο προς την περιοχή με το χαμηλότερο (Εικόνα 1-5, Α).

Η υδραυλική βαθμίδα ορίζεται ως η διαφορά υδραυλικού φορτίου μεταξύ δύο σημείων του στρώματος άλατος. Το υδραυλικό φορτίο σε ένα συγκεκριμένο σημείο μέσα στο ρευστό είναι το άθροισμα του δυναμικού βαρύτητας (G), βρισκόμενο σε υψόμετρο Z (μετρούμενο από μια αυθαίρετα ορισμένη γραμμή αναφοράς), και της πίεσης του ρευστού (P) σε αυτό το σημείο, για παράδειγμα το ύψος της στήλης του ρευστού που εφαρμόζεται σε αυτό το σημείο. Ένα κεκλιμένο στρώμα άλατος μπορεί να ρέει προς τα πάνω αν η μείωση της πίεσης, ΔP , είναι μεγαλύτερη από την αύξηση του βαρυτικού δυναμικού, ΔG , που ορίζεται από την υψομετρική διαφορά μεταξύ δύο σημείων και της πυκνότητας του ρευστού (π.χ. $\Delta G = Z_B \cdot D_S - Z_A \cdot D_S$). Δηλαδή, σύμφωνα με την εικόνα 1-5 Α, όταν ισχύει:

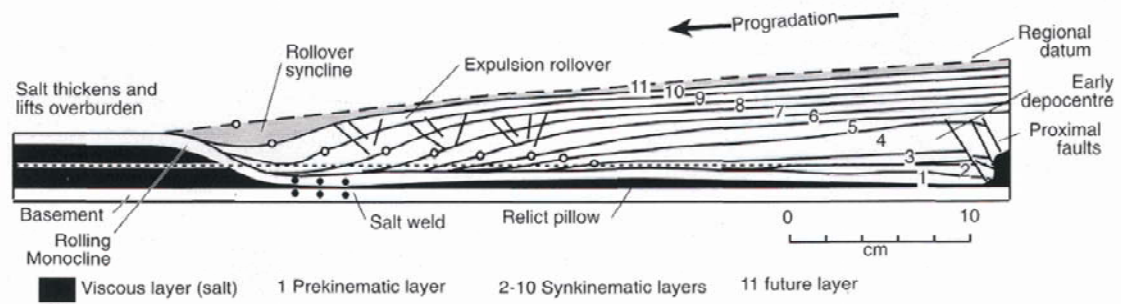
$$P_A - P_B > D_S (Z_B - Z_A)$$

Αυτό συμβαίνει όταν η μέση πυκνότητα των υπερκειμένων πετρωμάτων, D_R , είναι μεγαλύτερη από αυτή του εβαποριτικού στρώματος, D_S . Σε διαφορετική περίπτωση η ροή του άλατος πραγματοποιείται προς τα κάτω (από το σημείο C προς το B, εικόνα 1-5 Α). Επιπροσθέτως, για να ξεκινήσει η ροή πρέπει να ξεπεραστεί το ελαστικό όριο του βισκοελαστικού άλατος.

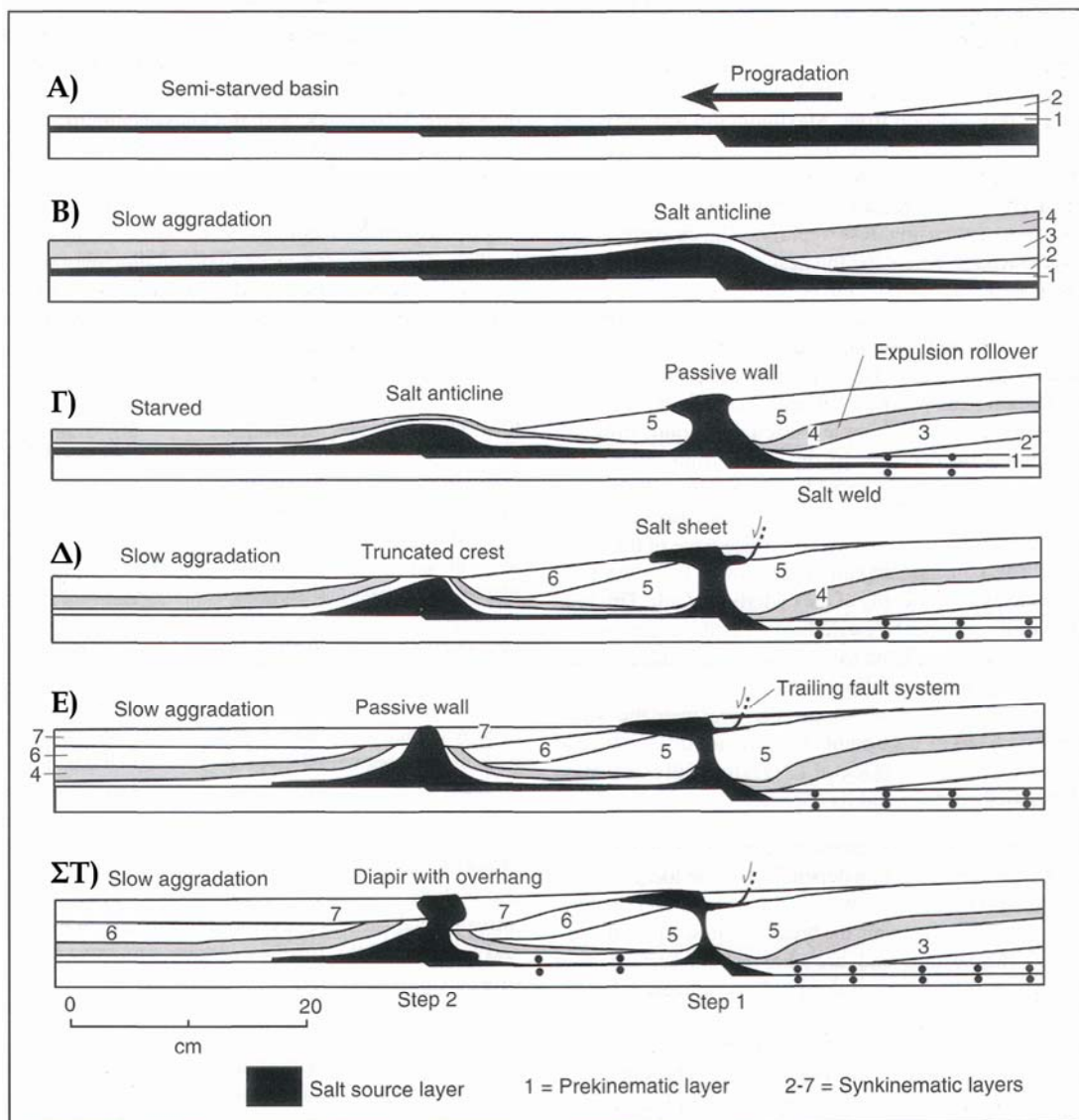


Εικόνα 1-5: Υπεδαφική ροή άλατος σε σχέση με την υδραυλική βαθμίδα μέσα στο στρώμα άλατος. Α) Ροή άλατος προς τα ανάντι και κατάντι ανάλογα με την υψηλότερη ή χαμηλότερη πυκνότητα, D_R , των ιζηματογενών πετρωμάτων που υπέρκεινται του κεκλιμένου στρώματος άλατος πυκνότητας D_S . Στο σημείο Β η συσσώρευση άλατος από ροή τείνει να δημιουργήσει δόμο άλατος. Β) Η διαφορετική φόρτιση οριζόντιου στρώματος άλατος, π.χ. από ένα προελαύνον τουρβιδιτικό λοβό, προκαλεί την μετακίνηση του άλατος μακριά από την περιοχή μέγιστης πίεσης/φόρτισης. Γ) Η ύπαρξη ανομοιομορφίας στην επιφάνεια του άλατος προκαλεί την ροή του άλατος προς την ανομοιομορφία, στην περίπτωση που $D_R > D_S$. Στην αντίθετη περίπτωση ($D_R < D_S$) το άλας ρέει μακριά από την ανομοιομορφία. Δ), Ε) Δύο στάδια της δημιουργίας δόμου άλατος. Δ) Σχηματισμός μαξιλαροειδών δομών και έναρξη διάβρωσης των υπερκειμένων. Ε) Εξώθηση άλατος διαμέσου των υπερκειμένων. Σημειώνεται η έντονη πτύχωση των πρωτογενών στρώσεων άλατος. Στα σχήματα αυτά δεν παρουσιάζεται η επακόλουθη κατάρρευση και ενταφιασμός των αλάτος. (από Kehle, 1988)

Στην περίπτωση ενός οριζόντιου στρώματος άλατος που καλύπτεται από οριζόντια και πλευρικά ομοιόμορφα νεώτερα ιζήματα, η υδραυλική βαθμίδα μέσα στο στρώμα άλατος ισοδυναμεί με την βαθμίδα του βαρυτικού δυναμικού, επειδή το βάρος των υπερκείμενων είναι παντού το ίδιο. Σε αυτήν την περίπτωση δεν πραγματοποιείται καμία κίνηση άλατος. Παρόλα αυτά, αν η επιφάνεια του άλατος ανυψωθεί τοπικά (υψομετρική διαφορά Z , εικόνα 1-5 Γ), τότε δημιουργείται υδραυλική βαθμίδα. Αν η πυκνότητα των υπερκείμενων στην περιοχή της ανύψωσης είναι μεγαλύτερη από αυτήν του άλατος, τότε το άλας ρέει προς την ανωμαλία, ενώ όταν τα υπερκείμενα έχουν μικρότερη πυκνότητα τότε το άλας ρέει μακριά από την ανωμαλία. Παρόμοια, μια τοπική αύξηση της φόρτισης των υπερκειμένων (διαφορική φόρτιση), για παράδειγμα από ένα προελαύνον τουρβιδιτικό λοβό, μπορεί να δημιουργήσει μια σημαντική υδραυλική βαθμίδα στο στρώμα του άλατος και το άλας να κινηθεί μακριά από το σημείο αύξησης του φορτίου (εικόνα 1-5 Β). Συγκεκριμένα, μια ιζηματογενής απόθεση που προελαύνει πάνω από μια στρώση εβαπορίτη δημιουργεί πλευρικές δυνάμεις που δημιουργούν την ροή. Αυτή η διαδικασία συμβαίνει με παρόμοιο τρόπο όπως όταν πιέζουμε καθετα το σωληνάριο της οδοντόκρεμας και αυτή ρέει πλευρικά. Το προελαύνον ιζημα προκαλεί την ροή ανεξάρτητα από την πυκνότητα τόσο του εβαποριτικού στρώματος όσο και του ίδιου του ιζήματος. Επιπλέον, η δημιουργία δομών άλατος συνδέεται με την ύπαρξη ή όχι ασυνεχειών στο στρώμα που υπόκειται του εβαπορίτη. Δηλαδή, στην εικόνα 1-6 παρουσιάζεται η τελική μορφή ενός αρχικά οριζόντιου στρώματος εβαπορίτη που υπέρκειται ενός επίπεδου στρώματος στο οποίο ασκήθηκε πλευρική πίεση από την απόθεση προελαύνοντος ιζήματος. Στην εικόνα αυτή δεν παρατηρούνται εκτεταμένες δομές αλάτων. Σε αντίθεση, στην εικόνα 1-7 παρουσιάζονται τα στάδια εξέλιξης ενός αρχικά οριζόντιου εβαποριτικού στρώματος που υπέρκειται ενός ρηγματομένου στρώματος και του εξασκείται πλευρική πίεση. Στην εικόνα αυτή παρατηρείται ότι το άλας στο σημείο όπου υπάρχει ρήγμα δημιουργεί ένα αντίκλινο που σταδιακά εξελίσσεται σε διάπειρο και αλλόχθονο στρώμα άλατος. Οι εικόνες 1-6 και 1-7 αποτελούν αποτελέσματα πειραμάτων σε αναλογικά μοντέλα.



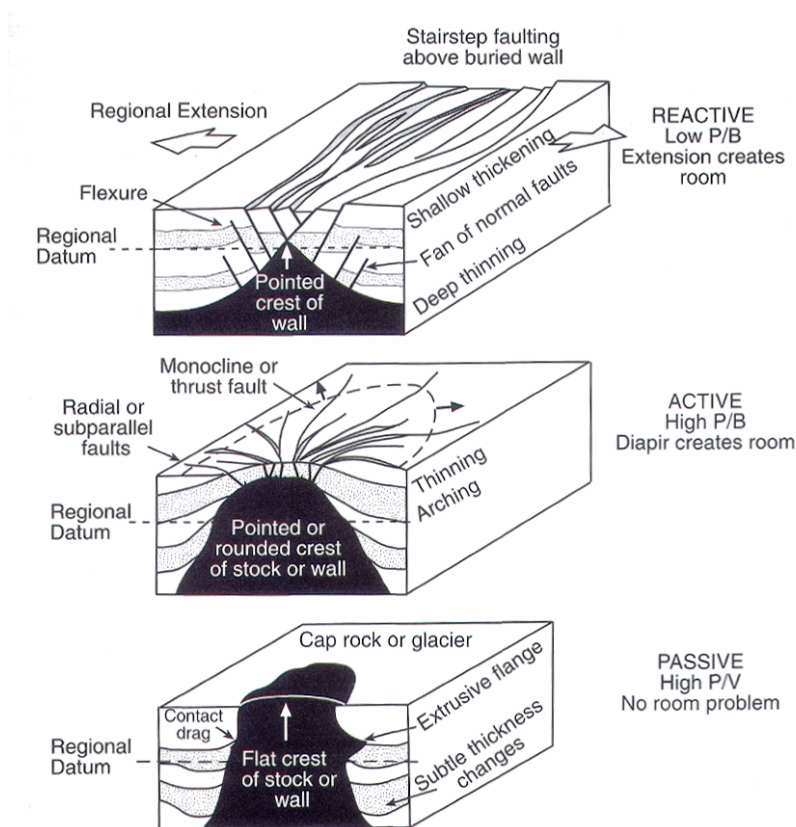
Εικόνα 1-6: Τομή που παρουσιάζει τις δομές που σχηματίστηκαν από την πλευρική πίεση εβαποριτικού στρώματος που υπέρκειται επίπεδου υποβάθρου. Η διακεκομμένη γραμμή αντιπροσωπεύει την αρχική οροφή του εβαποριτικού στρώματος. (από Warren, 1999, κατά Ge et al., 1997).



Εικόνα 1-7: Η εξέλιξη των δομών άλατος κατά την διάρκεια προέλασης υπερκείμενων νεώτερων ιζημάτων. Το υπόβαθρο του εβαποριτικού στρώματος παρουσιάζει ρηγματώσεις. (από Warren, 1999, κατά Ge et al., 1997).

Ένα σημαντικό κομμάτι στους μηχανισμούς γένεσης δομών άλατος κατέχει ο διαπειρισμός λόγω διαστολής. Υπό καθεστώς διαστολής τα διάπειρα διεισδύουν στα υπερκείμενα με τρεις τρόπους: Διαδραστικά, ενεργά και παθητικά (Εικόνα 1-8).

Ένα διαδραστικό διάπειρο διεισδύει κατά την διάρκεια της δημιουργίας ρηγμάτων διαστολής, γεμίζοντας τα κενά που δημιουργούνται μεταξύ των ρηξιγενών τεμαχών. Στην περίπτωση αυτή, η δημιουργία των ρηγμάτων δεν οφείλεται στην άνοδο του διαπείρου, αλλά στο τεκτονικό καθεστώς που έδρασε προγενέστερα. Ο διαδραστικός διαπειρισμός αποτελεί έναν ικανό μηχανισμό για την έναρξη της ανόδου των εβαποριτών, ανεξαρτήτως του πάχους της λιθολογίας και της πυκνότητας των υπερκειμένων.



Εικόνα 1-8: Τρία μοντέλα εξώθησης διαπείρων (με μαύρο χρώμα) και οι χαρακτηριστικές τους δομές. Η γραμμή αναφοράς (διακεκομμένη γραμμή) είναι η βάση του στρώματος με τις κουκίδες. P, V, και B αναφέρονται στις τάσεις που οφείλονται στην πίεση του εβαπορίτη, στην άνωση του εβαπορίτη και στο βάρος των υπερκειμένων αντίστοιχα (από Warren, 1999, κατά Jackson et al., 1994a).

Το ενεργό διάπειρο ανυψώνει και ωθεί πλευρικά τα υπερκείμενά του. Αυτή η περίπτωση είναι δυνατή μόνο όταν τα υπερκείμενα είναι σχετικά λεπτά και η πίεση του εβαπορίτη ξεπερνά την δύναμη θραύσης των υπερκειμένων.

Καθώς το διάπειρο αναδύεται και ρέει προς την επιφάνεια μετατρέπεται σε παθητικό διάπειρο. Ενώ ο κορμός του διαπείρου γίνεται μακρύτερος, η οροφή του διατηρεί την θέση της κοντά στην επιφάνεια, ενώ τα ιζήματα που γειτνιάζαν με το υπό εξάντληση μητρικό εβαποριτικό στρώμα ταπεινώνονται. Η οροφή του διαπείρου έχει δημιουργήσει ένα τοπογραφικό ύψωμα στην επιφάνεια που καλύπτεται από ιζήματα μικρού πάχους, συγκριτικά με τα παρακείμενα. Αυτά τα ιζήματα συνεχώς διαβρώνονται και ταυτόχρονα δεν αποτίθενται νέα ιζήματα. Αυτό μεταφράζεται ως απουσία κατακόρυφων πιέσεων που θα εμποδίζαν την εξάπλωση του διαπείρου. Τα ρήγματα και οι πτυχές στα ιζήματα γύρω από το παθητικό διάπειρο είναι περιορισμένα.

Η εξέλιξη των δομών άλατος

Οι δομές των αλάτων παρουσιάζουν μεγάλη ποικιλομορφία επειδή εξαρτώνται από πολλές παραμέτρους. Αυτές οι παράμετροι είναι η θέση των δομών στην λεκάνη, το αρχικό πάχος της απόθεσης άλατος, η ιστορία καταβύθισης της λεκάνης και η ιστορία συσσώρευσης ιζημάτων.

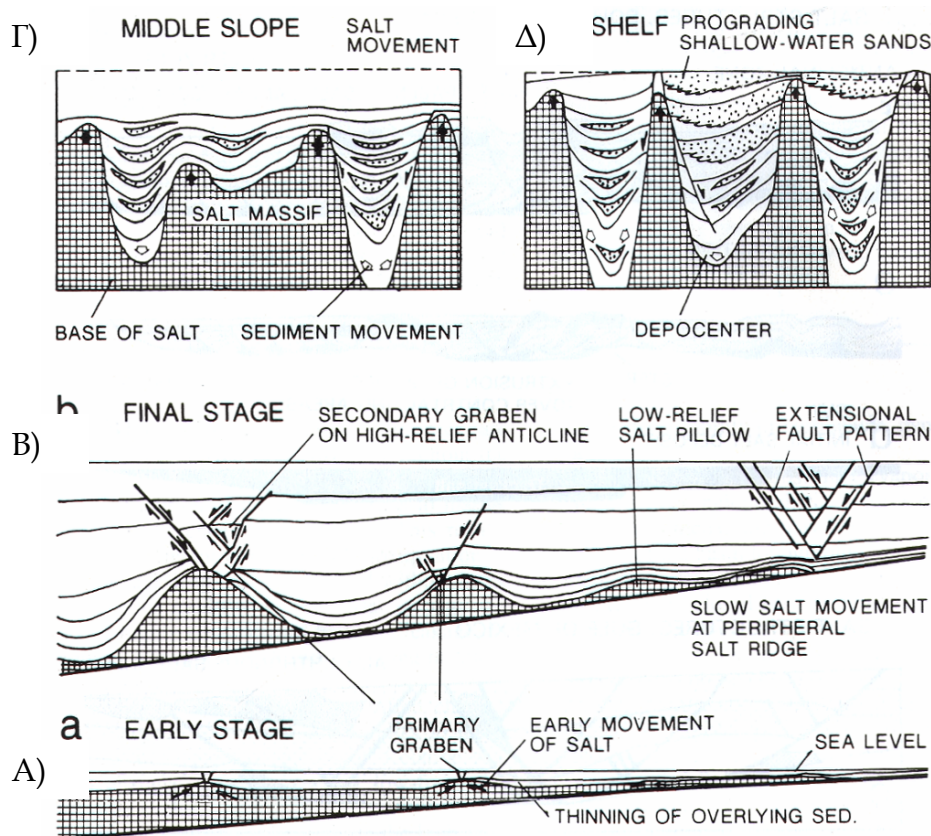
Ο πολύ κοινός δόμος άλατος έχει συνήθως διάμετρο από ένα μέχρι αρκετά χιλιόμετρα και οι πλευρές του είναι πολύ απότομες ως και προεξέχουσες που εκτείνονται αρκετά χιλιόμετρα σε βάθος. Τα επιμέρους στάδια ανάπτυξής τους είναι τα ακόλουθα (Εικόνα 1-5 Γ-Ε):

1. Σχηματισμός μαξιλαροειδών μορφών άλατος (salt pillows)
2. Διάβρωση των υπερκείμενων πετρωμάτων
3. Εξώθηση δόμων άλατος ή στήλων άλατος διαμέσου οδών που δημιουργήθηκαν από την διάβρωση του ιζηματογενούς καλύμματος.
4. Κατάρρευση και ενταφιασμός

Αρκετή ποσότητα άλατος χάνεται κατά την διάρκεια της ανόδου του, λόγω διάβρωσης και διάλυσης που συμβαίνει τόσο στην ξηρά όσο και στον πυθμένα. Από την στιγμή που το αρχικό στρώμα άλατος που τροφοδοτεί τον δόμο εξαντληθεί, τότε η ανοδική πορεία του άλατος σταματάει. Αυτή η δομή του άλατος μπορεί να έχει μια σταθερή κατάσταση στην κατακόρυφη διάσταση, ανεξαρτήτως αν ο δόμος καλύπτεται από ιζήματα που συνεχώς αυξάνονται, κάτι που θα σήμαινε αύξηση της

πίεσης των υπερκειμένων. Παρόλα αυτά, η πλευρική εξάπλωση του άλατος συνεχίζεται. Η εσωτερική δομή πολλών δόμων χαρακτηρίζεται από κλειστές πτυχές και έντονες παραμορφώσεις.

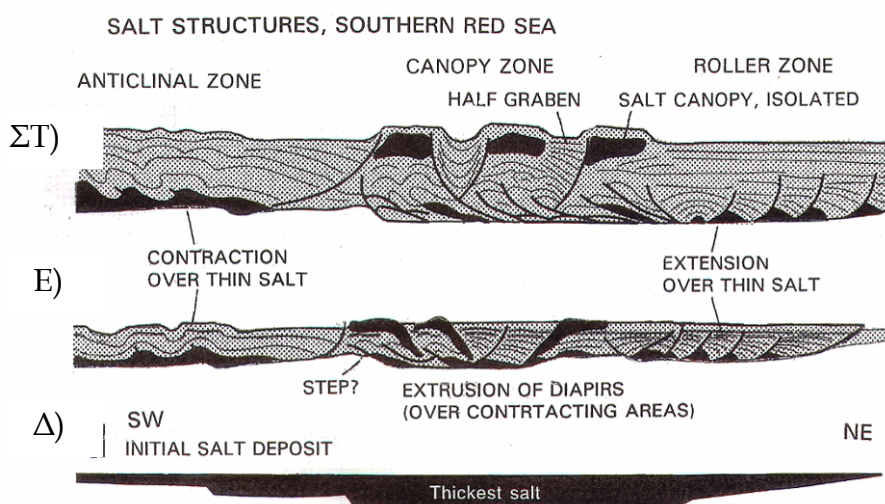
Η σχέση της δημιουργίας ενός δόμου άλατος με το πάχος της αρχικής απόθεσης του άλατος παρουσιάζεται στην εικόνα 1-9 Α, Β. Λεπτές αποθέσεις άλατος μπορούν να δημιουργήσουν χαμηλού αναγλύφου μαξιλαροειδείς δομές. Στην κορυφή των μαξιλαροειδών δομών, των μεγαλύτερων δόμων άλατος και των αντίκλινων άλατος υψηλού αναγλύφου επικρατούν τεκτονικές δομές διαστολής. Στις ζώνες μεταξύ δύο διαδοχικών δόμων άλατος, το αρχικό στρώμα άλατος έχει υποχωρήσει και αναπτύσσονται καινούργια υπόκεντρα όπου συσσωρεύονται τα νεότερα ιζημάτα (Εικόνα 1-9 Β-Δ). Οι στρώσεις κατά μήκος των πλευρών των δόμων άλατος εμφανίζονται συχνά ανεστραμμένες.

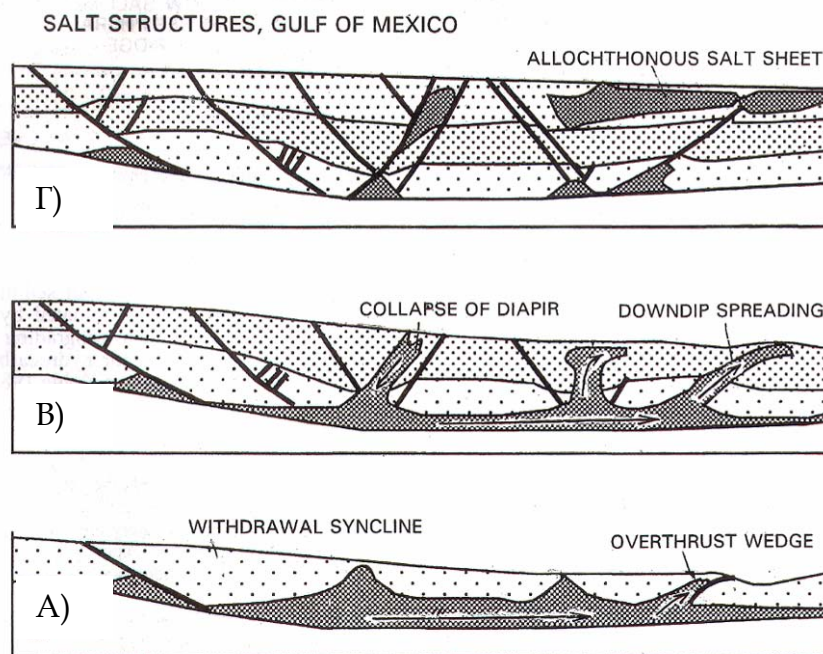


Εικόνα 1-9: Διαφορετικοί τύποι δομών άλατος. Α), Β) Εξέλιξη των μαξιλαροειδών δομών και των αντικλίνων εβαπορίτη που αρχικά είχε μορφή σφήνας με το πάχος να αυξάνεται προς το κέντρο της λεκάνης. (από Kehle, 1988). Γ), Δ) Ανάπτυξη υποκέντρων μεταξύ διαπείρων που προέρχονται από παχιά απόθεση άλατος σε περιβάλλον ηπειρωτικής κατωφέρειας/υφαλοκρηπίδας. Η κίνηση του άλατος καθώς και νεότερων ιζημάτων ξεκινάει από το κατώτερο τμήμα της κατωφέρειας και επιτείνεται λόγω αύξησης των συσσωρευόμενων ιζημάτων που προέρχονται από την προέλαση της υφαλοκρηπίδας. Οι αποθέσεις άμμου μπορούν να λειτουργήσουν ως ταμιευτήρες πετρελαίου. (από G. Einsele, 2000, κατά Jackson και Galloway, 1984)

Τα δύο παραδείγματα στην εικόνα 1-10 παρουσιάζουν μερικές πιο πολύπλοκες δομές άλατος, περιλαμβάνοντας σφήνες αλάτων επωθούμενες πάνω σε νεότερα ιζήματα και αλλόχθονες απομονωμένες στρώσεις αλάτων (salt canopies). Η διαδικασία σχηματισμού τους θεωρείται ότι λαμβάνει χώρα σε μικρά βάθη όπου οι διαφορές πυκνότητας μεταξύ άλατος και ιζημάτων είναι μικρές.

Επειδή οι άνυδροι εβαπορίτες έχουν πολύ μικρή διατμητική αντοχή, λειτουργούν ως επιφάνειες αποκόλλησης πάνω στις οποίες τα νεότερα στρώματα κινούνται προς μεγαλύτερα βάθη με πολύ μικρές γωνίες. Μια τέτοια περίπτωση παρουσιάζεται στην εικόνα 1-10 (Δ-ΣΤ), όπου στο ένα άκρο της λεκάνης επικρατούν δομές διαστολής (όπου παρουσιάζονται κύλινδροι άλατος), ενώ στο αντίθετο άκρο της λεκάνης εμφανίζονται δομές συμπίεσης (αντίκλινα άλατος), που δρουν ως μια μορφή ανάδρασης (backstop). Η ζώνη της αρχικής παχιάς απόθεσης άλατος στο κέντρο της λεκάνης επηρεάζεται από διαπείρισμό και μερική συστολή. Διάπειρα αλάτων εξωθούνται στην επιφάνεια, υπόκεινται σε απόπλυση και τελικώς διαχωρίζονται από την μητρική στρώση άλατος και καλύπτονται από νεότερα ιζήματα. Οι αλλόχθονες στρώσεις άλατος (canopies) σε αυτή την περίπτωση εμφανίζονται σε μικρότερα βάθη.





Εικόνα 1-10: Α), Β), Γ) Σχηματισμός αλλόχθονων στρωμάτων άλατος (canopies) από διάπαιρα και σφήνες άλατος που επωθήθηκαν πάνω σε νεώτερες στρώσεις. Η εξάντληση του μητρικού εβαποριτικού στρώματος δημιουργεί ένα πυκνό σύστημα ρηγμάτων, σύγκλινων και τάφρων (βλέπε επίσης και Στ). (κατά Montgomery and Moore, 1997). Δ), Ε), Στ) Ποικίλλες δομές αλάτων στο Νότιο τμήμα της Ερυθράς θάλασσας, που καθορίζονται από το έντονο τεκτονικό σύστημα (thin-skinned tectonics) πάνω από την αρχική εβαποριτική στρώση, π.χ. διαστολή πάνω από λεπτή ή παχιά εβαποριτική στρώση και συστολή. Η ζώνη canopy αναπτύσσεται πάνω από παχιά στρώση άλατος. (από G. Einsele, 2000, κατά Heaton et al., 1995)

1.4 Η μετάβαση Γύψου-Ανυδρίτη

Η γύψος ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), ή αλλιώς **διυδρίτης**, και ο **ανυδρίτης** (CaSO_4) αποτελούν τις φυσικές μορφές του θειικού ασβεστίου. Η γύψος, στην καθαρή της μορφή, είναι από διαφανής ως άσπρη και παρουσιάζει μικρές διακυμάνσεις στην χημική της σύσταση. Εκφράζοντας την σύσταση υπό μορφή οξειδίων, η γύψος περιέχει 32.5% CaO , 46.6% SO_3 και 20.9% H_2O . Τα χαρακτηριστικά γνώρισμά της είναι ο τέλειος σχισμός και η σκληρότητα 1.5-2 της κλίμακας Mohs. Οι εμπορικά εκμεταλλεύσιμες αποθέσεις γύψου σπάνια παρουσιάζουν την προαναφερόμενη καθαρή σύσταση. Συνήθως περιέχουν κυμαινόμενα ποσοστά ανυδρίτη, ασβεστόλιθου, δολομίτη, αργίλου, σιδηρούχων ενώσεων και πυριτίου. Μια τέτοιου είδους γύψος εμφανίζει χρώματα γκρι, καφέ, κόκκινα ή ροζ, ανάλογα με τις

προσμίξεις που παρουσιάζει. Είναι ελαφρά διαλυτή στο νερό και κατά τα λοιπά χαρακτηρίζεται ως αδρανές ορυκτό που αντιστέκεται στις χημικές αλλαγές και που παρουσιάζει εξαιρετική αντίσταση στην φωτιά εξαιτίας της απομάκρυνσης του περιεχόμενου νερού με την αύξηση της θερμοκρασίας. Η πρωτογενής γύψος μετατρέπεται σε ανυδρίτη σε θερμοκρασίες μεταξύ 35-45 °C, στην περίπτωση που τα ρευστά των πόρων προσεγγίζουν τον κορεσμό σε αλίτη. Στην περίπτωση που η συγκέντρωση των ρευστών είναι μικρότερη, τότε η μετατροπή της γύψου σε ανυδρίτη απαιτεί θερμοκρασίες μεταξύ 50-60°C και βάθη ταφής μερικών εκατοντάδων μέτρων.

Η γύψος παρουσιάζεται με διάφορες σε ποικιλίες. Ο **σεληνίτης** αποτελεί την διαφανή μορφή της γύψου. Το **αλάβαστρο** είναι η λεπτοκοκκώδης, συμπαγής μορφή της γύψου που προσομοιάζει με το μάρμαρο. Η ινώδης, μεταξώδης μορφή αποκαλείται **satin-spar**. Το μίγμα γύψου-αργίλου-άμμου ονομάζεται **γυψίτης**.

Ο ανυδρίτης, στην καθαρή μορφή του, περιέχει 41.2% CaO και 58.8% SO₃, που ισοδυναμεί με 23.5% S. Δεν περιέχει καθόλου κρυσταλλικό νερό και κατά την επαφή του με νερό ενυδατώνεται και μετατρέπεται σε γύψο. Η ταχύτητα αυτής της μετατροπής αυξάνεται όσο πιο λεπτομερής είναι ο ανυδρίτης. Τα χρώματα με τα οποία εμφανίζεται ο ανυδρίτης είναι το λευκό με τόνους του γκρι, μπλε, καφέ ή κόκκινοι. Η σκληρότητά του είναι 3-3.5, της κλίμακας Mohs, και παρουσιάζει τρεις καλούς σχισμούς κάθετους μεταξύ τους.

Οι αρχικές αποθέσεις γύψου επηρεάζονται από τις αλλαγές της πίεση και της θερμοκρασίας περιβάλλοντος καθώς και από την αλατοπεριεκτικότητα των ρευστών με τα οποία έρχονται σε επαφή. Η μεταβολές αυτές αφορούν την αφυδάτωση της γύψου σε ανυδρίτη και την ενυδάτωση του ανυδρίτη σε γύψο. Σε θερμοκρασίες 150-165°C η γύψος αποβάλλει σχεδόν τα $\frac{3}{4}$ του κρυσταλλικού νερού της. Το προϊόν αυτής της θέρμανσης είναι ο **ημιυδρίτης** (CaSO₄· $\frac{1}{2}$ H₂O), ο οποίος με την προσθήκη νερού μετατρέπεται ξανά σε γύψο. Σε ακόμα υψηλότερες θερμοκρασίες η γύψος μετατρέπεται σε ανυδρίτη. Τα αποτελέσματα της διαφορικής θερμικής ανάλυσης (DTA) σε δείγματα Τριαδικής γύψου στην περιοχή Βάθη της Δυτικής Κρήτης, έδειξαν ότι η μετατροπή γύψου σε ημιυδρίτη λαμβάνει χώρα στους 135-144°C και του ημιυδρίτη σε ανυδρίτη στους 308-368°C (Γ. Αλεβίζος & Μ. Γαλετάκης, 2005). Οι παραπάνω μετατροπές αποτυπώνονται στην ακόλουθη αντίδραση:



(δωδριτης)

(ημυδριτης)

(ανυδριτης)

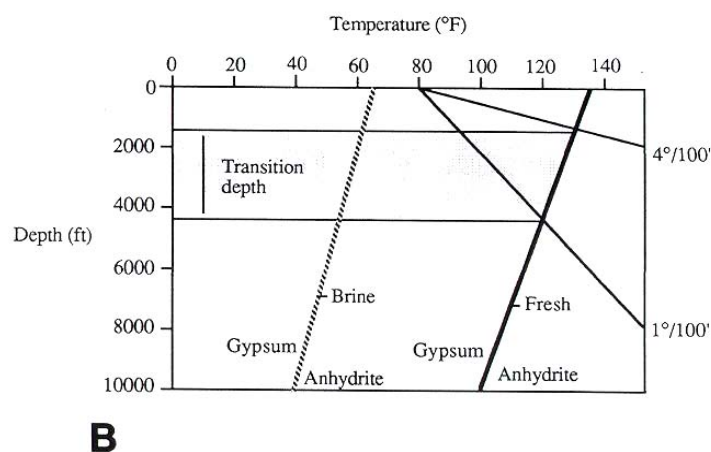
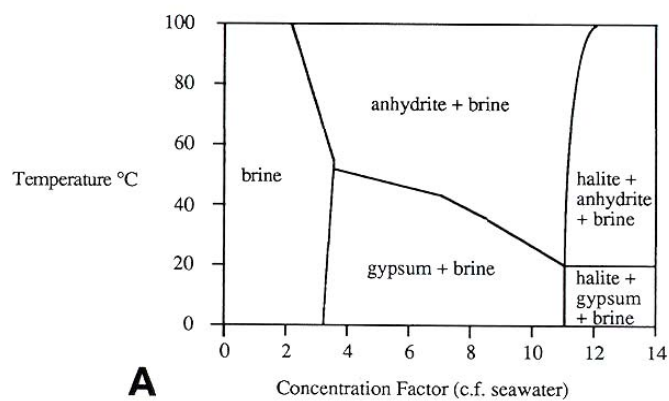
ή

ή

(γύψος)

(βασσανίτης)

Εφόσον η γύψος βρεθεί σε βάθη όπου η θερμοκρασία είναι πάνω από 60°C τότε αρχίζει η μετατροπή της σε ανυδρίτη (εικόνα 1-11). Ο ανυδρίτης στην περίπτωση αυτή παρουσιάζει συνήθως κονδυλώδη και εντερολιθικό ιστό. Η διαδικασία αυτή ολοκληρώνεται σε βάθη του 1km. Όταν τα ρευστά των πόρων έχουν υψηλή περιεκτικότητα (saline) η μετατροπή αυτή πραγματοποιείται ακόμη και σε βάθη 1-2m. Η μετατροπή γύψου σε ανυδρίτη έχει ως αποτέλεσμα την μείωση του όγκου του θειικού πετρώματος κατά 38% του αρχικού της όγκου και την αντίστοιχη αύξηση του πορώδους.



Εικόνα 1-11: Μετάβαση γύψου-ανυδρίτη, από Melvin (1991). Α) Η σταθερότητα των ορυκτών θειικού ασβεστίου (κατά Hardie, 1967). Β) Η σταθερότητα των ορυκτών θειικού ασβεστίου υπό όρους πίεσης και βάθους. (κατά Holster, 1979).

Ο ημιυδρίτης αποκαλείται επίσης και ως γυψοκονίαμα του Παρισιού, ενώ συγκεκριμένα ο τύπος που απαντάται στην φύση αποκαλείται **βασσανίτης**. Υπάρχουν δύο τύποι ημιυδρίτη, γνωστοί ως α-ημιυδρίτης και β-ημιυδρίτης. Ο πρώτος είναι πιο σταθερός από τον δεύτερο και παρουσιάζει διαφορετικές φυσικές ιδιότητες εξαιτίας του μεγαλύτερου μεγέθους των κρυστάλλων του. Ο φυσικός ημιυδρίτης, ή αλλιώς β-ημιυδρίτης, ή αλλιώς βασσανίτης, είναι σταθερός σε θερμοκρασίες της τάξης των 1200°C. Ο α-ημιυδρίτης είναι η μορφή του άνυδρου θεικού ασβεστίου που παρατηρείται σε θερμοκρασίες πάνω από τους 1200°C.

Η γύψος και ο ανυδρίτης αποτίθενται μετά τα ανθρακικά, από εξατμιζόμενο νερό που περιέχει 0.14% κ.β. θεικού ασβέστιο. Ακολουθούν κατά σειρά ο αλίτης και τα άλλα μαγνησιούχα και καλιούχα ορυκτά. Το ορυκτό που αποτίθεται κάθε φορά καθορίζεται από την θερμοκρασία και από την αλατοπεριεκτικότητα του υδατικού διαλύματος. Δεν είναι απολύτως ξεκάθαρο ποιο από τα ορυκτά γύψος ή ανυδρίτης αποτίθεται πρώτο. Από πειράματα έχει παρατηρηθεί ότι η γύψος αποτίθεται σε θερμοκρασίες χαμηλότερες από 42°C, ενώ ο ανυδρίτης σχηματίζεται πάνω από 42°C. Επίσης, έχει παρατηρηθεί ότι από ένα διάλυμα που προσεγγίζει τον κορεσμό σε Cl⁻ πραγματοποιείται απόθεση ανυδρίτη, ακόμα και όταν οι θερμοκρασία είναι χαμηλότερη των 42°C. Όταν το θαλασσινό νερό εξατμίζεται σε θερμοκρασία 30°C, τότε περίπου το ½ της ποσότητας του θεικού ασβεστίου που περιέχεται στο νερό αποτίθεται υπό μορφή γύψου. Στη συνέχεια, μόλις η συγκέντρωση των αλάτων αυξηθεί στο πενταπλάσιο της συγκέντρωσης του κανονικού θαλασσινού νερού τότε αποτίθεται υπό μορφή ανυδρίτη η εναπομείνουσα ποσότητα του θεικού ασβεστίου. Επομένως αν μια απόθεση ανυδρίτη αποδειχθεί ότι σχηματίστηκε σε θερμοκρασία χαμηλότερη από 42°C, τότε πρέπει να θεωρηθεί ότι τουλάχιστον κάποιο τμήμα αυτής της απόθεσης είναι δευτερογενές.

Ο ανυδρίτης είναι η επικρατούσα μορφή σε μεγάλα βάθη ενταφιασμού, εξαιτίας της αφυδάτωσης της γύψου. Η αντίθετη διαδικασία μετατροπής του ανυδρίτη σε γύψο, ή αλλιώς γυψοποίηση του ανυδρίτη, λαμβάνει χώρα όταν ο ανυδρίτης ανέλθει από τα μεγάλα βάθη σε μικρότερα, όπου επηρεάζεται από την κυκλοφορία του υπόγειου νερού, καθώς επίσης και σε εκείνα τα βάθη όπου ο ανυδρίτης βρίσκεται σε επαφή με πετρώματα που φέρουν νερό.

Κεφάλαιο 2 : Γεωλογική επισκόπηση

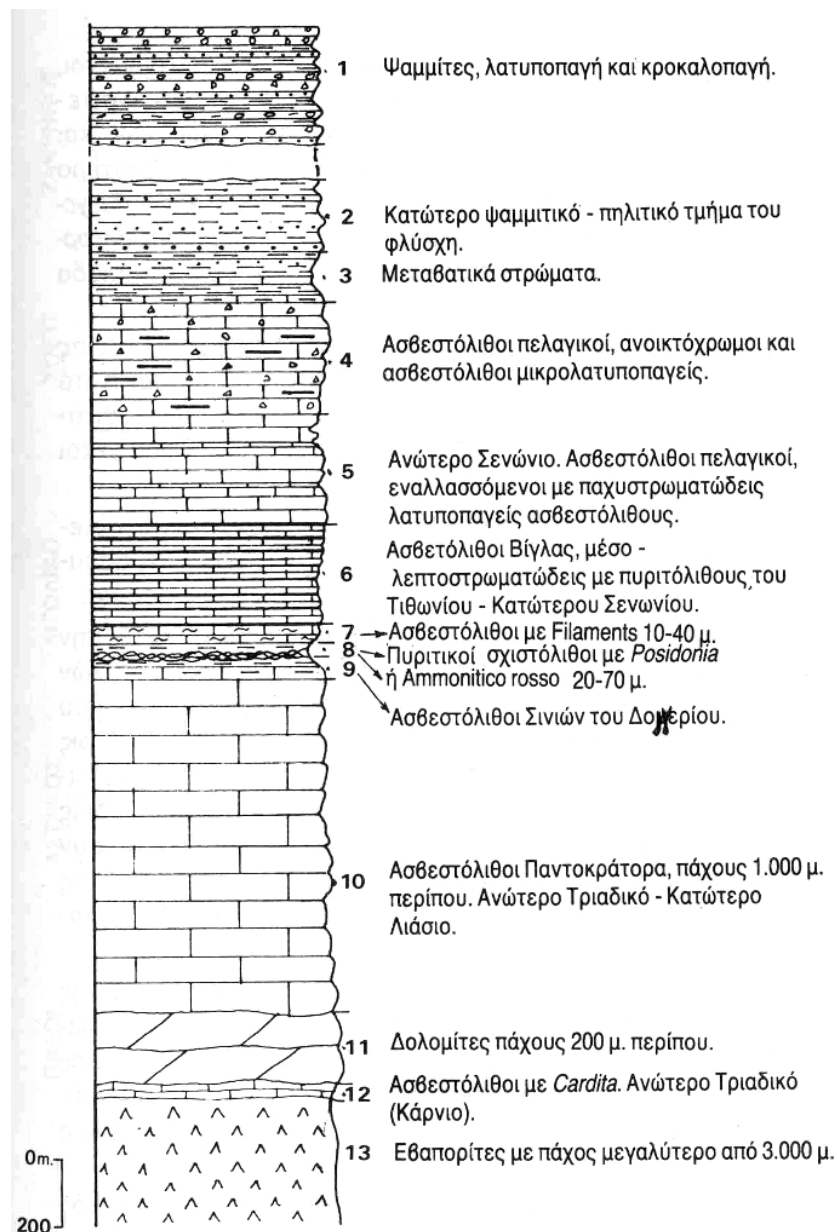
2.1 Γενικό γεωλογικό περίγραμμα

Οι Εξωτερικές Ελληνίδες είναι το δυτικό και το νοτιότερο τμήμα της Ελληνικής Ορογενετικής ζώνης (Hellenic Orogenic Belt) και εκτείνονται από την Βορειοδυτική Ελλάδα προς την Πελοπόννησο, την Κρήτη, Κάσο, Κάρπαθο και Ρόδο. Οι Εξωτερικές Ελληνίδες αποτελούνται κυρίως από τεκτονικά καλύμματα διαφορετικής παλαιογεωγραφικής προέλευσης και λιθολογίας, που επωθήθηκαν στο μεν βόρειο τμήμα τους προς τα δυτικά, πάνω στις ιζηματολογικές ακολουθίες της Ζώνης Παξών, νοτιότερα δε πάνω στα μεταμορφωμένα πετρώματα την Ομάδας των Πλακωδών Ασβεστολίθων, κατά την διάρκεια της συμπίεστικής τεκτονικής του Ολιγοκαίνου/Κάτω Μειοκαίνου.

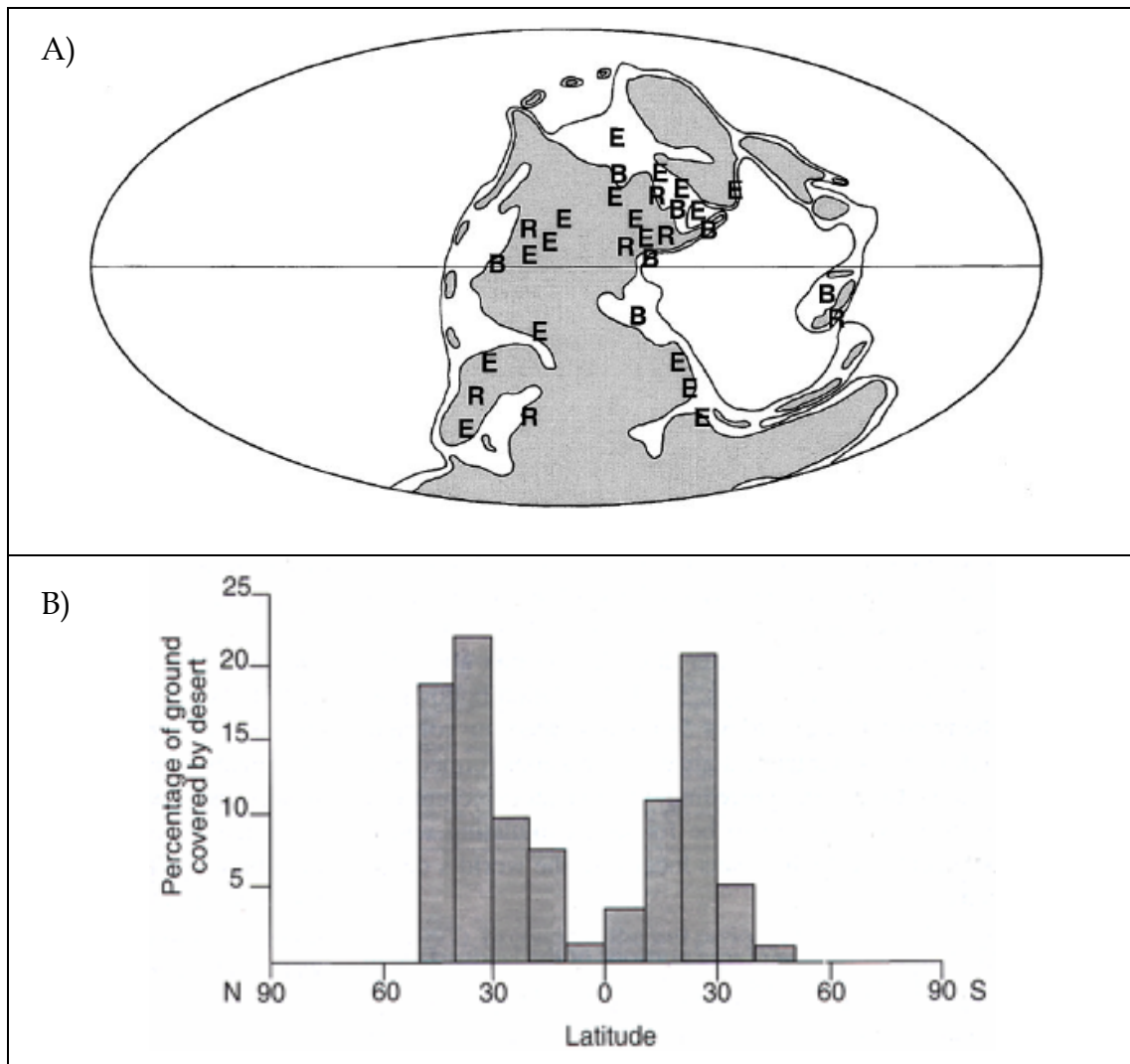
Σαν πρώτα αλπικά ιζήματα των δύο Εξωτερικών ζωνών (Παξών και Ιονίου) όπως προέκυψε από τον συνδυασμό παρατηρήσεων πεδίου και γεωτρητικών δεδομένων θεωρούνται οι εβαπορίτες (Εικόνα 2-1), η ηλικία των οποίων υπολογίζεται Περμοτριάδικη, ενώ αναφέρονται και ορισμένες παρεμβολές τους μέσα σε ασβεστόλιθους του Κάτω Λιασίου, αλλά και του Κρητιδικού. Το συνολικό πάχος των στρωμάτων των εβαποριτών υπολογίστηκε με γεωτρήσεις πάνω από 3000m. Η μεγαλύτερη εμφάνιση εβαποριτών στην Στερεά Ελλάδα εκτείνεται από την κοιλάδα του Κάτω Αχελώου μέχρι τον Αμβρακικό κόλπο.

Οι εβαπορίτες των Εξωτερικών Ελληνίδων αποτελούν τμήμα των Περμοτριάδικων εβαποριτικών στρωμάτων που σχηματίστηκαν περίξ της Παγγαίας και καταλαμβάνουν σήμερα μεγάλο πάχος και εξάπλωση. Ο σχηματισμός των εβαποριτών έφτασε στο μέγιστο βαθμό κατά την διάρκεια του Τριαδικού. Οι εβαπορίτες του Περμίου και του Τριαδικού αποτελούν το 35% περίπου των παγκόσμιων εβαποριτικών πόρων. Η παλαιογεωγραφία και το κλίμα συντέλεσαν στην δημιουργία ευνοϊκών συνθηκών για τον σχηματισμό τους. Εξαιτίας της επικράτησης της ενιαίας ηπείρου, της Παγγαίας, και της μείωσης της στάθμης της θάλασσας, οι περιθωριακές θαλάσσιες λεκάνες έγιναν ρηχότερες. Ο σχηματισμός αυτής της εκτεταμένης ξηράς οδήγησε στην επιπρόσθετη δημιουργία ενός αριθμού ενδοκρατικών λεκανών. Στα πλαίσια ενός κλίματος που γινόταν σταδιακά

περισσότερο ξηρό, η εξάτμιση αυξήθηκε ραγδαία κατά την διάρκεια του Περμίου. Στην περίοδο αυτή, οι εβαποριτικές αποθέσεις εντοπίζονταν σε μια πλατιά ζώνη γύρω από τον ισημερινό, με όρια 30°S και 50°N (Εικόνα 2-2). Αυτή η ζώνη διατηρήθηκε ενεργή μέχρι το Μέσο Τριαδικό.



Εικόνα 2-1: Στρωματογραφική στήλη της Ιονίου ζώνης (Κατά Dercourt et al 1980).

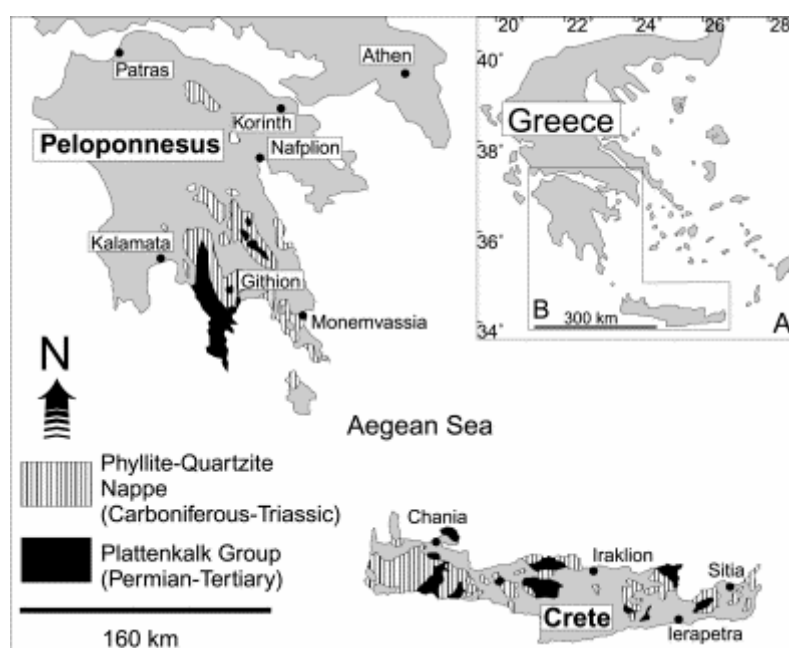


Εικόνα 2-2: Α) Κατανομή των εβαποριτών (Ε) του Περμίου. Κατά την διάρκεια του Περμίου επικράτησαν συνθήκες θερμού και ξηρού κλίματος σε μια εκτενή ζώνη. Στο σχήμα με (R) και (B) συμβολίζονται τα ερυθρά στρώματα και οι περιοχές ανάπτυξης οργανικού υλικού αντίστοιχα (Trappe, 2000). Β) Κατανομή ανάλογα του γεωγραφικού πλάτους των σύγχρονων ερήμων παγκοσμίως (Warren, 1999).

Στο παλαιογεωγραφικό χώρο των εξωτερικών ζωνών των Εξωτερικών Ελληνίδων και ειδικότερα στις ζώνες Παξών και Ιονίου, πάνω από την εβαποριτική ακολουθία ακολούθησε μεγάλου πάχους ανθρακική ιζηματογένεση με παρεμβολές κερατολίθων και μικρού πάχους κλαστικών σχηματισμών, μέχρι την έναρξη της απόθεσης του φλύσχη κατά το Τριτογενές. Τα πετρώματα των δύο αυτών ισοπικών ζωνών εμφανίζονται σε μια ορεογραφική - χωρική διάταξη από τα βόρεια σύνορα της χώρας μέχρι την Κεντρική Πελοπόννησο. Νοτιότερα εμφανίζονται αντ' αυτών τα μεταμορφωμένα πετρώματα των Εξωτερικών Ελληνίδων.

Ειδικότερα στην Νότιο Πελοπόννησο και Κρήτη παρατηρείται η ακόλουθη σειρά από την κορυφή προς την βάση της τεκτονικής επαλληλίας (Εικόνα 2-3).

- ❖ Κάλυμμα της Τρίπολης, κυρίως ρηχά ανθρακικά του Τριαδικού ως Τριτογενούς
- ❖ Κάλυμμα Φυλλιτών, κυρίως πυριτικά κλαστικά του Άνω Λιθανθρακοφόρου ως Κάτω Τριαδικού
- ❖ Ομάδα Φυλλιτών-Χαλαζιτών
- ❖ Ομάδα Πλακωδών Ασβεστολίθων, παρασπυρριτική ομάδα, κυρίως ανθρακικά του Περμίου ως Τριαδικού



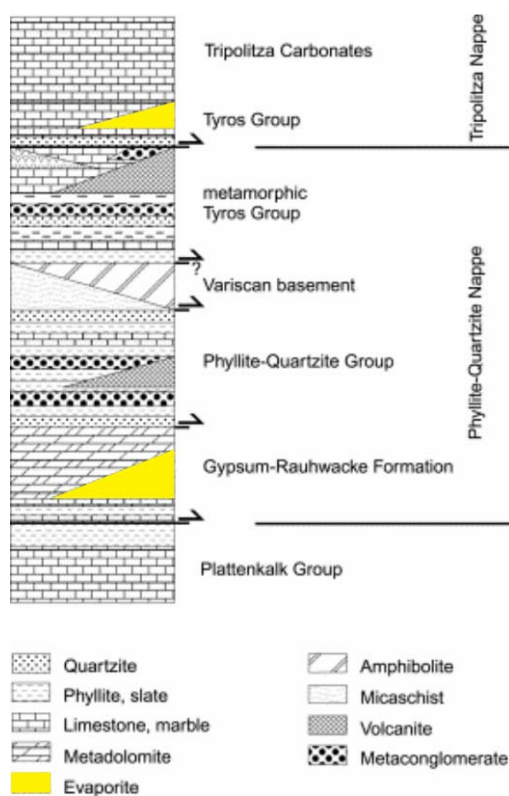
Εικόνα 2-3: Οι εμφανίσεις της ομάδας Πλακωδών Ασβεστολίθων (Plattenkalk Group) και του Φυλλιτικού Καλύμματος (Phyllite-Quartzite Nappe) στην Πελοπόννησο και Κρήτη (Dornsiepen et al., 2001).

Οι παραπάνω ενότητες καλύπτονται με καλύμματα των Εσωτερικών ενότητες, που είναι τα εξής: Οφιολιθικό σύμπλεγμα (melange), υπολείμματα από τον Ιουρασικό ωκεάνιο φλοιό, ιζήματα βαθιάς θάλασσας, πετρώματα υψηλής μεταμόρφωσης του Πελαγονικού καλύμματος, κυρίως πυριτικά κλαστικά και ανθρακικά ρηχής θάλασσας του Περμίου ως Μεσοζωϊκού, μερικώς μεταμορφωμένο κάλυμμα Πίνδου-Εθιάς, κυρίως ιζήματα βαθιάς θάλασσας του Τριαδικού ως Τριτογενούς.

Στρώματα του Περμίου και Τριαδικού παρατηρούνται στο Πελαγονικό κάλυμμα και στις κατώτερες τεκτονικές ενότητες, την Ομάδα Πλακωδών

Ασβεστολίθων και το Φυλλιτικό Κάλυμμα. Τα δύο τελευταία έχουν υποστεί μεταμόρφωση υψηλής πίεσης/χαμηλής θερμοκρασίας. Η ομάδα των Πλακωδών Ασβεστολίθων αποτελείται από καλά στρωμένα ασβεστιτικά και δολομιτικά μάρμαρα με στρώματα πυριτιολίθων. Η απόθεση ξεκίνησε κατά το Πέρμιο και τελείωσε κατά ο Ολιγόκαινο. Το Φυλλιτικό Κάλυμμα που υπέρκειται έχει διαιρεθεί στις παρακάτω τέσσερις υποενότητες που οι επαφές μεταξύ τους είναι τεκτονικές (Εικόνα 2-4):

- ❖ Μεταμορφωμένη Ομάδα Τυρού
- ❖ Μεταμορφωμένα πετρώματα Βαρύσκειας ηλικίας
- ❖ Ομάδα Φυλλιτών-Χαλαζιτών
- ❖ Σχηματισμός Γύψου-Ραουβάκη



Εικόνα 2-4: Σχηματική ακολουθία της Ομάδας των Πλακωδών Ασβεστολίθων, του Φυλλιτικού Καλύμματος και του Καλύμματος της Τρίπολης μαζί με τις κυριότερες λιθολογίες. Τα βέλη αντιπροσωπεύουν τους κύριους τεκτονικούς οριζόντες αποκόλλησης που διαχωρίζουν τις ενότητες και υποενότητες. Με κίτρινο χρώμα είναι οι εβαπορίτες (Dornsiepen et al., 2001).

Το Φυλλιτικό Κάλυμμα καλύπτεται από το Κάλυμμα της Τρίπολης. Το τελευταίο αντιπροσωπεύεται από ανθρακικά ιζήματα πλατφόρμας (Άνω Τριαδικό-

Μέσο Ηώκαινο) και από μια τουρβιδιτική ακολουθία (Μέσο-Άνω Ηώκαινο-Ολιγόκαινο). Το μη μεταμορφωμένο τμήμα της ομάδας του Τυρού θεωρείται από πολλούς ερευνητές ως το υπόβαθρο της ομάδας της Τρίπολης.

Στην ακόλουθη ενότητα η γεωλογική επισκόπηση θα εστιαστεί στην ιστορική αναδρομή των εργασιών που σχετίζονται με τις μελέτες που πραγματοποιήθηκαν για τα πετρώματα του Φυλλιτικού Καλύμματος (κατά τον ορισμό των Dornsiepen & Manutsoglu 1994) με στόχο την προσέγγιση της υποενότητας όπου πιθανώς ανήκει το κοιτάσμα γύψου-ανυδρίτη της περιοχής Αλτσιού της Ανατολικής Κρήτης.

2.2 Ιστορική αναδρομή

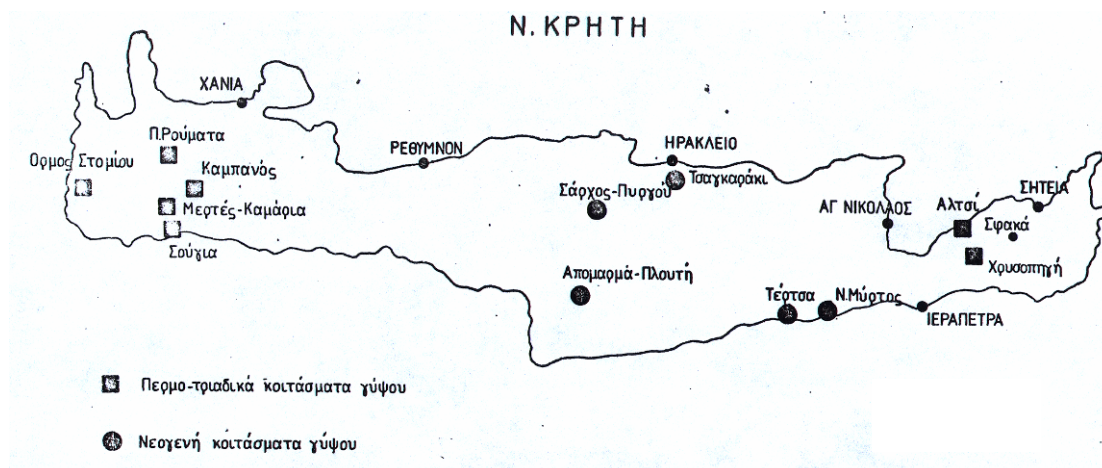
Η Κρήτη παρουσιάζει εμφανίσεις θεικών αλάτων που διαχρονικά έχουν τύχει εκμετάλλευσης και για τον λόγο αυτόν έχουν χαρακτηριστεί «κοιτάσματα». Ορισμένα από αυτά παραμένουν ακόμη και σήμερα αξιόλογα (Εικόνα 2-5) και από πλευράς ποιότητας αλλά και ποσότητας. Τα «κοιτάσματα» αυτά, ως προς την ηλικία σχηματισμού τους, διακρίνονται σε Περμοτριάδικά και Νεογενή. Κύριο χαρακτηριστικό των Νεογενών «κοιτασμάτων» είναι η αποκλειστική παρουσία της διωδρικής μορφής του θειϊκού ασβεστίου και σχετίζονται από πλευράς δημιουργίας με το “Messinian event” ή «κρίση αλατότητας» που επηρέασε κατά το Μεσσήνιο τον χώρο όλης της Μεσογείου. Οι βιβλιογραφικές αναφορές για την προσέγγιση των μηχανισμών δημιουργίας αυτών των εμφανίσεων και κοιτασμάτων, της δημιουργίας των επακόλουθων σαπιοπηλών και σαπιοπηλικών οριζόντων και της συνεπακόλουθης πιθανής δημιουργίας υδρογονανθράκων, ανέρχονται σε πολλές εκατοντάδες. Για τον λόγο αυτόν, η βιβλιογραφικές αναφορές περιορίζονται στις Περμοτριάδικης ηλικίας εμφανίσεις και κοιτάσματα, όπου το θειικό ασβέστιο εμφανίζεται με τις δύο βασικές του μορφές: τη διωδρική ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) και την άνυδρη (CaSO_4). Κοιτάσματα αυτής της περιόδου έχουν εντοπιστεί σε όλο το μήκος του νησιού, με σπουδαιότερα από άποψη αποθεμάτων στην θέση “Αλτσι” στην Ανατολική Κρήτη, εκείνα της θέσης “Ορμου Στομίου” και “Σούγιας” στην Δυτική Κρήτη. Προνομιούχα από άποψη θέσεων θεωρούνται εκείνα στο Αλτσι και στον Όρμο Στομίο που φθάνουν μέχρι τη θάλασσα και οι ορμίσκοι που υπάρχουν επιτρέπουν τη προσέγγιση και φόρτωση πλοίων. Η θαλάσσια περιοχή του κοιτάσματος της Σούγιας δεν προσφέρεται για τη δημιουργία λιμενικών

εγκαταστάσεων. Τα υπόλοιπα, ανεξαρτήτως μεγέθους, παρουσιάζουν περιορισμένο οικονομικό ενδιαφέρον επειδή βρίσκονται στο εσωτερικό του νησιού.

Όσον αφορά τα αρχικά αποθέματα για τα μεγαλύτερα και γνωστότερα κοιτάσματα στο Αλτσι, στον Όρμο Στομίου, και στη Σούγια είναι της τάξεως εκατοντάδων εκατομμυρίων τόννων πάντοτε όμως συμπεριλαμβανομένων γύψου και ανυδρίτη. Αν ληφθεί υπόψη ότι η βασική αντίληψη είναι ότι η γύψος αποτελεί μανδύα μικρού σχετικά πάχους, τα εκμεταλλεύσιμα αποθέματα περιορίζονται κατά πολύ. Παράδειγμα, το κοιτάσμα του Όρμου Στομίου για το οποίο με τη γεωτρητική έρευνα (ΓΕΜΕΕ Α.Ε. 1968-70) τα συνολικά αποθέματα εκτιμήθηκαν σε μερικά δισεκατομμύρια τόννους και τα βέβαια της εκμεταλλεύσιμης γύψου σε 10,5 εκατομμύρια τόννους. Οι ίδιες συνθήκες επικρατούν και στα υπόλοιπα κοιτάσματα αυτής της κατηγορίας, όπως έδειξαν οι παρατηρήσεις υπαίθρου. Εξαιρέση ίσως αποτελούν μερικά από τα κοιτάσματα που φαίνεται να έχουν υποστεί κάποια μετακίνηση από την αρχική θέση σχηματισμού τους υπό την επίδραση ισχυρών τεκτονικών πιέσεων (κοιτάσματα Σφάκας, Χρυσοπηγής, Παλαιά Ρούματα). Σε αυτά απουσιάζουν από τη γύψο τα ανυδριτικά υπολείμματα και η παρουσία του ανυδρίτη περιορίζεται σε ακανόνιστου σχήματος και ποικίλου μεγέθους ογκόλιθους (Κανάρης, 1989).

Από το τέλος του 19^{ου} αιώνα έχουν περιγραφεί στην Κρήτη πετρώματα διαφόρου λιθολογίας, παλαιογεωγραφικής προέλευσης και βαθμών μεταμόρφωσης. Ο Paulin (1869) περιέγραψε τους "ημιμετα-μορφωμένους ταλκικούς σχιστολίθους", ο Cayeux (1902) για τη "μεταμορφωμένη σειρά της Δυτικής Κρήτης", ο Wurm (1950) για το "μεταμορφωσιγενές της Κρήτης" οι Papastamatiou και Reichel (1956) για "Φυλλίτες". Στους γεωλογικούς χάρτες του Ι.Γ.Ε.Υ "Χανιά" και "Καστέλι" (1960) σημειώνονται "κρυσταλλικοί σχιστόλιθοι", οι Aubouin και Dercourt (1965) μιλούν για φάσεις Κακόπετρου και Σκλαβοπούλας, οι Creutzburg και Papastamatiou (1966) για "μεταμορφωμένους σχιστολίθους, ο Seidel (1968), Creutzburg & Seidel (1975), Sanneman & Seidel (1976), Wachendorf et al., (1980) μιλούν για «σειρά Φυλλιτών-Χαλαζιτών» οι Bonneau (1973), Kuss & Thorbecke (1974) για "Φυλλίτες της Τρίπολης" οι Wachendorf et al., (1974), Kopp & Ott (1977) για "σειρά Φυλλιτών", οι Sanneman & Seidel (1976), Kopp & Ott (1977) για "στρώματα Ραβδούχων", Bauman et al., (1978) για "Φυλλιτική σειρά", ο Φυτρολάκης (1980) για "αργιλοσχιστολιθική σειρά ενότητας Τρίπολης", "ενότητα φυλλιτών-χαλαζιτών", "Φυλλίτες ενότητας Τρυπαλίου", οι Krahel et al., (1982) για "ομάδα φυλλιτών-χαλαζιτών", οι Seidel et al., (1982) για "ενότητα

Φυλλιτών- Χαλαζιτών", ο Thorbecke (1974) για "σχηματισμό Φυλλιτών" και οι Dorsiepen & Manutsoglu (1988) για «Φυλλιτικό Κάλυμμα».



Εικόνα 2-5: Τα Περμο-Τριαδικά και Νεογενή κοιτάσματα γύψου της Κρήτης. (Κανάρης, 1987).

Με την ονοματολογία αυτή οι παραπάνω συγγραφείς περιέγραψαν ένα σύνολο μεταμορφωμένων πετρωμάτων ή ένα τμήμα του συνόλου αυτού, που παρεμβάλλεται μεταξύ του καλύμματος της Τρίπολης και της «ενότητας Κρήτης-Μάνης» ή της ενότητας Τρυπαλίου. Είναι επόμενο τα πολλά ονόματα να έχουν προκαλέσει μια σύγχυση όσον αφορά το περιεχόμενο του όρου "φυλλίτες-χαλαζίτες". Μια σύγχυση που γίνεται μεγαλύτερη όταν στο μεταμορφωμένο και πολυφασικά τεκτονισμένο αυτό σύνολο πετρωμάτων, στο οποίο δεν υπάρχουν αρκετά στρωματογραφικά δεδομένα προσπαθήσει να ερμηνεύσει κανείς την εμφάνιση θεικών. Ως εκ τούτου είναι αναγκαία μια λεπτομερής βιβλιογραφική ανασκόπηση που σχετίζεται όχι με την ονοματολογία αλλά με τις απόψεις των ερευνητών σχετικά με την στρωματογραφική και τεκτονική θέση των κοιτασμάτων γύψου – ανυδρίτη. Σε σχέση με το σύνολο των εργασιών που δημοσιεύθηκαν για τις μεταμορφωμένες αυτές ακολουθίες οι αναφορές για τα περμοτριάδικής ηλικίας κοιτάσματα και στην Ανατολική αλλά και στη Δυτική Κρήτη είναι αποσπασματικές.

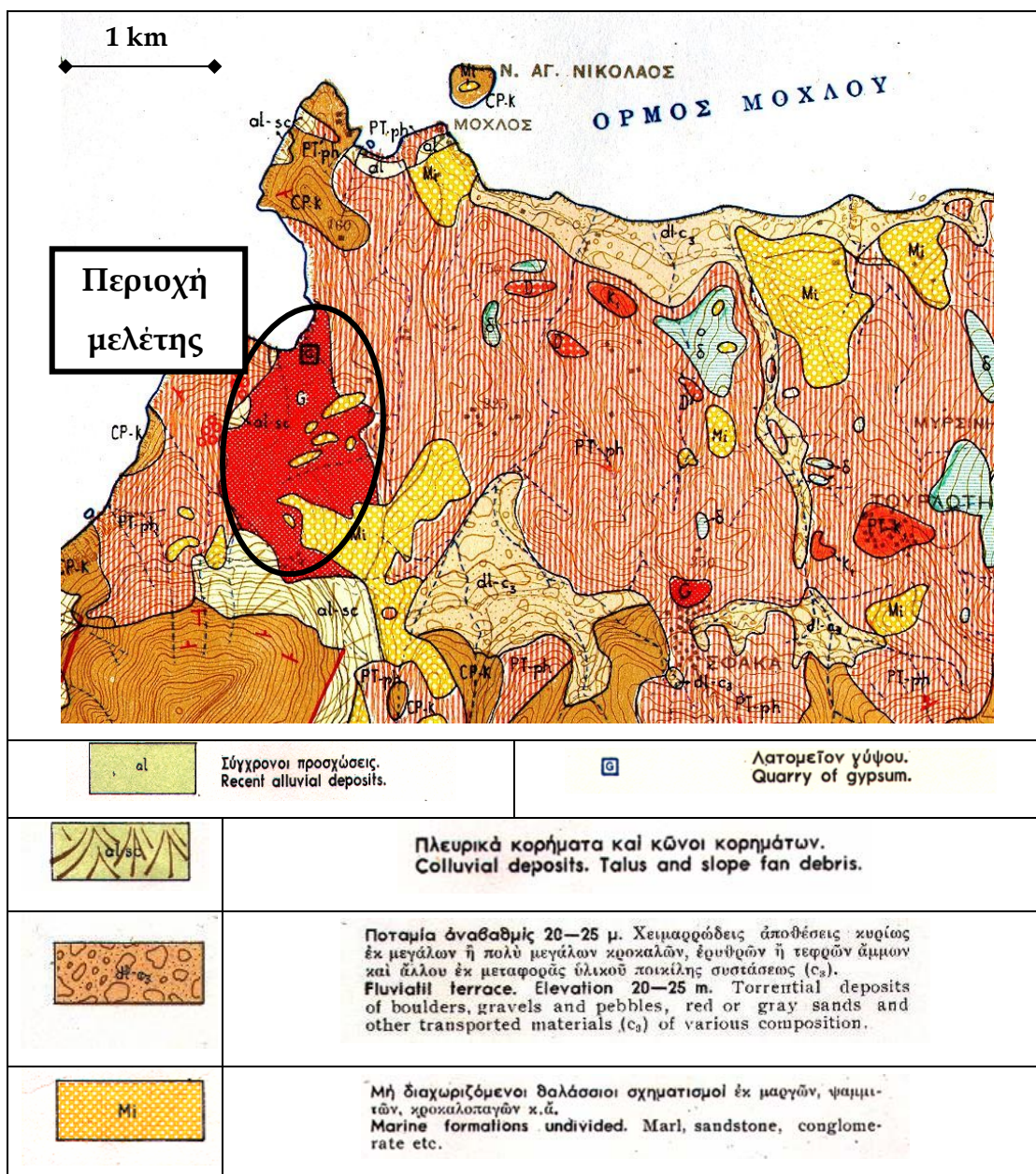
Αρχικά ο Raulin (1869) περιέγραψε σαν “terrain primitif” **γύψους, ραουβάκες, φυλλίτες, χαλαζιακούς φυλλίτες με ανθρακικές ενδιαστρώσεις, κροκαλοπαγή και σχιστολίθους**. Στην συνέχεια ο Cayeux (1902) μελετώντας τη "μεταμορφωμένη σειρά της Δυτικής Κρήτης" τη χωρίζει σε επτά διαφορετικούς lithολογικούς ορίζοντες οι οποίοι από πάνω προς τα κάτω είναι:

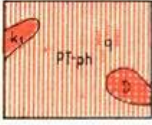
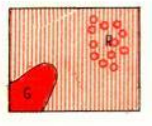

Λιθολογικοί Ορίζοντες	Πάχη
Μαύροι φυλλίτες	} τουλάχιστον 600m
Ανώτερη σειρά Φυλλιτών-Χαλαζιτών	
Σιπολίνες και κροκαλοπαγή	400-500m
Κατώτερη σειρά Φυλλιτών-Χαλαζιτών	600m
Φυλλιτικοί ασβεστόλιθοι εναλλασσόμενοι με λαμπυρίζοντες σχιστολίθους	500m
Δολομίτες και ραουβάκες	400-500m
Γύψοι	200m

Ο Wurm (1950) δεν μπόρεσε να ακολουθήσει τον διαχωρισμό αυτό και διαχώρισε το "μεταμορφωσιγενές της Κρήτης" σε δύο τμήματα. Ένα κατώτερο που αποτελείται από «**γύψους και ραουβάκες**» και ένα ανώτερο, από «φυλλίτες-χαλαζίτες-αργιλικούς σχιστολίθους». Ειδικότερα για το κοίτασμα γύψου και ανυδρίτη στο Αλτοί της Ανατολικής Κρήτης παραθέτει ότι οι ραουβάκες καλύπτουν το κοίτασμα γύψου. Δυτικά των γύψων υπόκεινται πράσινοι ασβεστιτικοί σχιστόλιθοι και ασβεστοφυλλίτες. Επειδή θεώρησε ότι οι ασβεστιτικοί σχιστόλιθοι είναι συνδεδεμένοι, με μεταβάσεις, με τους ραουβάκες υπέθεσε ότι υπάρχει μια κανονική στρωματογραφική εξέλιξη μεταξύ των ανωτέρω: ασβεστιτικοί σχιστόλιθοι, γύψοι, ραουβάκες. **Ο ίδιος ερευνητής περιγράφοντας το "Μεταμορφωσιγενές της Κρήτης" προβληματίστηκε εάν και κατά πόσο θα έπρεπε να εντάξει τους "αργιλικούς σχιστολίθους" σε ανεξάρτητη στρωματογραφική ενότητα ή να τους θεωρήσει τμήματα λιγότερο μεταμορφωμένα της ίδιας ακολουθίας στρωμάτων.** Ο Creutzburg δε το 1958 παρέθεσε ότι μέσα σ' αυτή τη φαινομενικά συνεχή ακολουθία μεταμορφωμένων πετρωμάτων συνυπάρχουν πετρώματα διαφορετικών ηλικιών και διαφορετικής προέλευσης που δύσκολα διαχωρίζονται.

Τα πρώτα στρωματογραφικά δεδομένα για την ηλικία τμημάτων τουλάχιστον των μεταμορφωμένων αυτών πετρωμάτων δόθηκαν από τους Papastamatiou και Reichel (1956), οι οποίοι πιστοποίησαν Πέρμια ηλικία των φυλλιτών, βρίσκοντας βορειοανατολικά του χωριού Σφάκα, όπου εμφανίζονται **γύψοι και ανυδρίτες** το ασβεστοφύκος *Mizzia velebitana*.

Το 1956 εκδίδεται ο γεωλογικός χάρτης φύλλο «Ιεράπετρα» από τους Παπασταματίου κ.α. στον οποίο τα κοιτάσματα γύψου και ανυδρίτη τοποθετούνται στους «κατώτερους ορίζοντες του φυλλιτικού συστήματος του μεταμορφωσιγενούς της Κρήτης» (Εικόνα 2-6:).



	<p>Φυλλίται κυρίως σερικιτικοί, σκοτεινότεφροι, υποπράσινοι ή βυσινόχρωες εις διάφορα στάδια μεταμορφώσεως επιζώνης. Περιέχουν ενστρώσεις ψαμμιτών, χαλαζιτών (q), κροκαλοπαγών, σκοτεινόχρωων πλακωδών κρυσταλλικών ασβεστολίθων (k₁) και δολομιτών (D). Κατά περιοχάς εγκλείουν σημαντικά σώματα έκρηξιγενών πετρωμάτων. Έντός των κατωτέρων οριζόντων του συστήματος τούτου και παρά το χωρίον Σφάκα (Σητείας) ανευρέθη το άσβεστοπόκος <i>Mizzia velebitana</i> Schubert, χαρακτηρίζον το πέριμον της Ανατολικής Μεσογείου. Έντός των άνωτέρων οριζόντων, έξ άλλου, του συστήματος τούτου, ανευρέθησαν εις Δυτ. Κρήτην άπολιθώματα χαρακτηριστικά του άνωτέρου τριαδικού.</p> <p>Phyllites, mainly sericitic of a dark gray, greenish, or maroon colour, in various grade of epizone metamorphism, containing intercalations of sandstone, quartzite/conglomerate and dark coloured thin-bedded crystalline limestone (k₁) and dolomite (D). In some places noticeable eruptive bodies near the village Sfaka, the algae <i>Mizzia velebitana</i> Schubert was found, a fossil characteristic for the Permian outcrops in the East Mediterranean basin. In the upper layers of the same system, in western Crete, were found characteristic fossils of the upper Triassic.</p>
	<p>G. Κοιτάσματα γύψου άνυδρίτου έντός των κατωτέρων οριζόντων του φυλλιτικού συστήματος. D₁ Κυψελώδεις δολομίται έξ άποπλύσεως της έμπεριεχομένης γύψου. R, Υπολείμματα έξ δυσδιάλυτων συστατικών άποκομισθείσης γύψου.</p> <p>G. Gypsum-anhydrite deposits in the lower part of the phyllitic series. D₁ cellular dolomite which were disseminated in washed out parts of gypsum deposits. R, Residue of undissolved gypsum materials.</p>
	<p>Πλακώδεις κρυσταλλικοί άσβεστόλιθοι συνήθως ύποκύανοι με λεπτάς διαστρώσεις ή βολβούς έκ πυριτολίθου λίαν λεπτοκόκκινου. Υπόκεινται συμφώνως των φυλλιτών με κανονικά μεταβάσεις.</p> <p>Average bedded, usually bluish, crystalline limestone, with flaggy intercalations or nodules of very fine grained chert. They gradually fall into the overlying-in conformity-phyllite.</p>

Εικόνα 2-6: Απόσπασμα γεωλογικού χάρτη της ευρύτερης περιοχής μελέτης με το αντίστοιχο υπόμνημα

Το 1958 γράφθηκε η πρώτη έκθεση του ΠΓΕΥ από τον Παπασταματίου «Περί του κοιτάσματος γύψου «Αλτοί» - Αν. Κρήτης, τμήμα της οποίας παρατίθεται:

«Το Τριαδικό αυτό κοιτάσμα ορυκτών θειικών αλάτων (γύψου-ανυδρίτη) βρίσκεται περίπου 2km ΒΒΔκά του χωρίου "Λάστρος" της Δυτικής Σητείας. Ο δημόσιος δρόμος περνάει από το κοιτάσμα αυτό στο σημείο όπου βρίσκεται η εκκλησία του Αγίου Παντελεήμονα. Από το σημείο αυτό εκτείνεται προς τον Βορρά μέχρι τον όρμο Αλτσίου. Κατά μήκος του δημόσιου δρόμου, δυτικά της μεγάλης εμφάνισης βρίσκονται μικρά κοιτάσματα γύψου, ασήμαντης ποσότητας.

Η κυρία εμφάνιση γύψου-ανυδρίτη έχει ελλειπτικό σχήμα, με μέγιστο άξονα ΒΒΔ-ΝΝΑ διεύθυνσης. Κατά την διεύθυνση αυτή το μήκος της εμφάνισης είναι 1500m περίπου. Το πλάτος αυτής κυμαίνεται από 400 ως 100m. Η γύψος στο σύνολό της καλύπτει έκταση 1250km². Η μέγιστη υψομετρική διαφορά ανέρχεται σε 350m περίπου.

Δυτικά της εμφανίσεως, στην θέση Μαύρη Πλάκα, αναπτύσσεται το υποκείμενο της γύψου. Αμέσως κάτω από την γύψο εμφανίζεται, ως συνήθως, ο Τριαδικός σπογγώδης-κυψελώδης τεφρός δολομίτης. Ακολουθούν υποπράσινα φυλλιτικά στρώματα με ασβεστιτικά εκκρίματα στον ανώτερο ορίζοντα, και στην συνέχεια απαντάται λεπτοπλακώδης ασβεστόλιθος. Η γύψος στον αυχένα του επιμήκους λόφου Κουκούτσα καλύπτεται από τεφρομέλανους δολομίτες, συμπαγείς, με κατά θέσεις κυψελώδη υφή. Κατά την άνοδο από Άγιο Παντελεήμονα προς Κάφα, λεπτό στρώμα φυλλιτών διαδέχεται τους δολομίτες που υπέρκεινται της γύψου και μετά σφιγροί μαύροι ασβεστόλιθοι με κονδύλους ή φακοειδείς λεπτές ενστρώσεις κερατολίθων, πιθανώς Ιουρασικής ηλικίας.

Λόγω των έντονων τεκτονικών διαταραχών τα στρώματα δεν έχουν ενιαία παράταξη. Δυτικά της εμφάνισης το υποκείμενο της γύψου έχει διεύθυνση Β 40° Α και κλίση 45° προς ΒΑ.

Στις ανατολικές απόκρημνες ακτές του όρμου Αλτσίου το κοιτάσμα έρχεται σε ανώμαλη επαφή με τους φυλλίτες. Η φυλλιτική σειρά, που περιλαμβάνει ασβεστολιθικές ενστρώσεις φακοειδούς

μορφής, έχει στολιδωθεί έντονα, προφανώς λόγω των πιέσεων που της ασκήθηκαν κατά την διόγκωση του κοιτάσματος, που οφείλεται στην μετατροπή του ανυδρίτη σε γύψο. Συνολικά το κοιτάσμα έχει υποστεί τεκτονικές πιέσεις και κάποια τμήματά του έχουν σχιστοποιηθεί σε μεγάλο βαθμό.

Από όλα τα παραπάνω, προκύπτει ότι το κοιτάσμα γύψου-ανυδρίτη, με τους δολομίτες που το συνοδεύουν, αποτελεί ένα μεγάλο φακοειδές σώμα μέσα στα φυλλιτικά στρώματα της Σητείας και όλα μαζί έχουν υποστεί έντονες τεκτονικές πιέσεις.

Όπως συμβαίνει σε όλα τα κοιτάσματα Τριαδικής γύψου, τουλάχιστον στα ογκώδη, η γύψος συνοδεύεται από ανυδρίτη. Σε μερικά τμήματα του κοιτάσματος ευρίσκεται μόνο ανυδρίτης, σε άλλα μόνο γύψος και σε μερικές θέσεις βρίσκονται μέσα στην γύψο ογκόλιθοι ανυδρίτη. Σε μερικά σημεία του κοιτάσματος βρίσκονται κατά την εξόρυξη της γύψου μικρές συγκεντρώσεις θείου, που προέκυψε, όπως είναι γνωστό, από την αναγωγή των θειικών αλάτων.

Κατά θέσεις το κοιτάσμα της γύψου είναι καθαρό, ειδικά στα κατώτερα στρώματα. Κατά θέσεις όμως περιέχει στείρα υλικά και τεμάχια στιφρού μαύρου ασβεστολίθου, με βιτουμενώδη οσμή όταν σπάει. Το μέγεθος των ασβεστολιθικών αυτών τεμαχίων ποικίλλει και διατάσσονται παράλληλα προς την στρώση. Κατά την διάβρωση των επιφανειακών τμημάτων του κοιτάσματος ελευθερώνονται οι μαύροι ασβεστόλιθοι ή δολομίτες, και παραμένουν διάσπαρτοι στα ομαλά τμήματα ή συγκεντρωμένοι σε κώνους στις κλιείς του λόφου.

Η αναλογία των στείρων ποικίλλει μεταξύ ευρέων ορίων στις διάφορες θέσεις του κοιτάσματος. Από τις χημικές αναλύσεις προκύπτει ότι η εμπορεύσιμη γύψος έχει μέση περιεκτικότητα 94,5% σε ένυδρο θειικό ασβέστιο ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) και ότι ο ανυδρίτης στερείται σχεδόν ξένων προσμίξεων».

Σύμφωνα με το επεξηγηματικό τεύχος του μεταλλογενετικού χάρτη 1:1.000.000, έκδοσης Ι.Γ.Ε.Υ. (1965),

«... η γύψος είναι πολύ διαδεδομένη στην Ελλάδα. Στον μεταλλογενετικό χάρτη σημειώνονται 59 περιοχές, οι οποίες εγκλείουν κοιτάσματα γύψου, ο αριθμός όμως των επιμέρους κοιτασμάτων είναι πολλαπλάσιος. Σε όλες τις περιπτώσεις πρόκειται για ιζηματογενή γύψο, η οποία διακρίνεται από άποψης ηλικίας σε Περμική, Τριαδική και Νεογενή. Επίσης, παρουσιάζεται είτε ως αυτόχθονη, που σχηματίστηκε μέσα στα στρώματα που την περικλείουν, είτε ως ετερόχθονη που μετανάστευσε από βαθύτερους ορίζοντες με διαπείρισμό. Μεμονωμένοι κρύσταλλοι γύψου ή συσσωματώματα κρυστάλλων της βρίσκονται στις παραγενέσεις μικτών θειούχων μεταλλευμάτων (π.χ. Λαυρεωτική κ.α.), που προήλθαν από την επίδραση θειικού οξέος ή θειικών αλάτων. Στην περίπτωση αυτή, κατερχόμενα διαλύματα που προήλθαν από την εξαλλοίωση του μικτού θειούχου μεταλλεύματος που έρχονται σε επαφή με ανθρακικά άλατα του ασβεστίου κυρίως, που βρίσκονταν στο περιβάλλον των μικτών θειούχων. Στην περίπτωση αυτή η γύψος δεν είναι ιζηματογενής, αλλά δεν μπορεί να σχηματιστεί κοιτάσμα με αυτόν τον τρόπο.

Δεδομένου ότι σε ελάχιστες εμφανίσεις γύψου έχει εκτελεσθεί συστηματικό ερευνητικό πρόγραμμα δεν είναι δυνατόν να δοθούν βέβαια αποθέματα. Παρόλα αυτά, από τις διαστάσεις των εμφανίσεων των κοιτασμάτων και της γεωλογικής τους θέσης τα πιθανά αποθέματα της Ελλάδας σε γύψο είναι της τάξης δισεκατομμυρίων τόνων. Επομένως δεν υπάρχει πρόβλημα αποθεμάτων γύψου στη Ελλάδα. Αντιθέτως, υπάρχει πρόβλημα διάθεσης γύψου, δεδομένου ότι ο κύριος τομέας κατανάλωσης της γύψου στο εσωτερικό είναι η τσιμεντοβιομηχανία και μόνο μικρές ποσότητες απορροφούνται σε άλλες χρήσεις. Εξάλλου, τα εξαγόμενα φορτία είναι ποσοτικά ασήμαντα. ...λαμβάνομενου υπόψη ότι όχι μόνο υπάρχουν μεγάλα κοιτάσματα, αλλά και οι συνθήκες τις οποίες εμφανίζονται είναι ιδιαίτερες ευνοϊκές, επιτρέποντας την υπαίθρια εκμετάλλευσή. Πέραν αυτών, η προσπέλαση των κοιτασμάτων είναι εύκολη, η απόστασή τους από την θάλασσα (τα μεγαλύτερα κοιτάσματα βρίσκονται στα νησιά ή παράκτια), είναι σχεδόν

αμελητέα. Τα τελευταία αυτά δεδομένα εξασφαλίζουν δυνατότητα περιορισμού του κόστους εξόρυξης».

Από τις 59 περιοχές όπου εντοπίστηκαν και αναφέρονται ως κοιτάσματα γύψου σύμφωνα με τον μεταλλογενετικό χάρτη, το κοιτάσμα με νούμερο 41 βρίσκεται στο Αλτοί. Το κοιτάσμα αυτό χαρακτηρίζεται ως «κοιτάσμα γύψου-ανυδρίτη, με μικρές συγκεντρώσεις θείου, ιζηματογενούς προέλευσης και Τριαδικής ηλικίας.

Η συζήτηση για την προέλευση των μεταμορφωμένων πετρωμάτων της Κρήτης συνεχιζόταν. Ήδη από το 1974 οι Kuss & Thorbecke εκφράσαν την άποψη ότι το Πέρμιο των Papastamatiou & Reichel (1956) προέρχεται από τμήματα της ζώνης της Τρίπολης τα οποία σφηνώθηκαν μέσα στους φυλλίτες κατά την προέλαση του καλύμματος της Τρίπολης.

Ετσι οι Creutzburg και Seidel (1975), θεωρώντας πολύ πιθανή την άποψη που διατύπωσε ο Creutzburg το 1958 εισάγουν για το "σύμπλεγμα" των μεταμορφωμένων πετρωμάτων τον όρο "σειρά Φυλλιτών - Χαλαζιτών" και δέχονται ότι το "σύμπλεγμα" αυτό αντιστοιχεί στο "terrains metamorphique" του Cayeux (1902) δηλαδή στο σχηματισμό "γύψων και ραουβακών και στη σειρά "φυλλιτών - χαλαζιτών - αργλικών σχιστολίθων" του Wurm (1950). Στη σειρά των "Φυλλιτών - Χαλαζιτών" των Creutzburg & Seidel κυριαρχούν φυλλίτες διάφορης σύστασης, χαλαζίτες μικρού ή μεγάλου πάχους, κροκαλοπαγή, μαύροι πλακώδεις δολομιτικοί ασβεστόλιθοι, γύψοι, ραουβάκες, και μεταβασάλτες.

Σύμφωνα με τον Φυτρολάκη (1972, 1980) στην ανατολική Κρήτη, τόσο στην περιοχή Αλτοί, όσο και στο Κάβο Σίδερο, τα κοιτάσματα γύψου-ανυδρίτη, που παρεμβάλλονται μέσα στους δολομίτες και ραουβάκες μικρού πάχους (5-10m) «*βρίσκονται σχεδόν αμέσως επί των ανώτερων στρωμάτων των Πλακωδών Ασβεστόλιθων*».

Το 1982 ο Krahel et al. δημοσιεύουν τα πρώτα συμπεράσματα σχετικά με τη στρωματογραφία της "ομάδας των φυλλιτών - χαλαζιτών" στην Δυτική Κρήτη. Ύστερα από συστηματική έρευνα βρίσκουν πλήθος απολιθωμάτων ανωπέρμικης έως ανωτριάδικης ηλικίας και χωρίζουν την "ομάδα φυλλιτών - χαλαζιτών" σε δέκα μέλη. Η λεπτομερής αυτή στρωματογραφική μελέτη είχε ως αποτέλεσμα να αποδείξει ότι οι **γύψοι, οι δολομίτες και οι ραουβάκες** που μέχρι τώρα επιστεύετο ότι αποτελούν τους βαθύτερους ορίζοντες της ενότητας, είναι οι ανώτεροι στρωματογραφικοί ορίζοντες και κατά συνέπεια μεγάλα τμήματα της ενότητας Φυλλιτών - Χαλαζιτών είναι ανεστραμμένα.

Οι Kopp και Wernado (1983) αναφερόμενοι στην εμφάνιση της "ομάδας των Φυλλιτών" στην Ανατολική Κρήτη τονίζουν ότι η ηλικία και η τεκτονική θέση των ασθενώς μεταμορφωμένων σχιστολίθων και ασβεστολίθων αντιστοιχούν με αυτές της "ομάδας των Φυλλιτών" στη Δυτική Κρήτη. Αμφιβολίες δημιούργησαν κατά καιρούς η αισθητά μικρότερη συμμετοχή των χαλαζιτών, το συνολικά μικρότερο πάχος της σειράς και η καθαρά μικρότερου βαθμού μεταμόρφωση. Επισημαίνουν ότι μετά τον καθορισμό της στρωματογραφικής σειράς της "ομάδας των Φυλλιτών" γίνεται αντιληπτό ότι όλα τα αμφιοβητούμενα σημεία εύρεσης απολιθωμάτων στην Ανατολική Κρήτη βρίσκονται σε σχηματισμούς οι οποίοι έχουν τις αντιστοιχίες τους στην "ομάδα των Φυλλιτών" της Δ. Κρήτης. Επί πλέον όλοι οι σχηματισμοί της Δ. Κρήτης εμφανίζονται στην Ανατολική Κρήτη με την ίδια σειρά ο ένας πάνω στον άλλο.

Οι Krahel et al. (1986) ανακαλύπτουν στην Ανατολική Κρήτη πλήθος νέων απολιθωμάτων που τους επέτρεψαν τη χρονολόγηση και τη στρωματογραφική διαίρεση της "ομάδας των φυλλιτών". Περιγράφουν κάτω-ανω-τριαδικούς δολομίτες με τοπικές εμφανίσεις γύψων (Sfaka Dolomite). Πάνω τους αναπτύσσεται τεκτονικά η ενότητα Μυρσίνης, ηλικίας Κατώτερου Περμίου μέχρι Μέσο-Κάτω Τριαδικό. Αποτελούνται από φυλλίτες που εναλλάσσονται με μάρμαρα και λεπτούς χαλαζίτες. Ακολουθεί η ενότητα Σκοπής που αποτελείται από μεταφαισιτίτες, μάρμαρα, λατυποπαγή, κροκαλοπαγή, πολύχρωμους σχιστολίθους και χαλαζίτες, ηλικίας Ανώτερου Σκύθιου μέχρι Μέσου Τριαδικού. Μεταξύ των δύο ενοτήτων παρεμβάλλονται τα βαρυσκία μεταμορφωμένα.

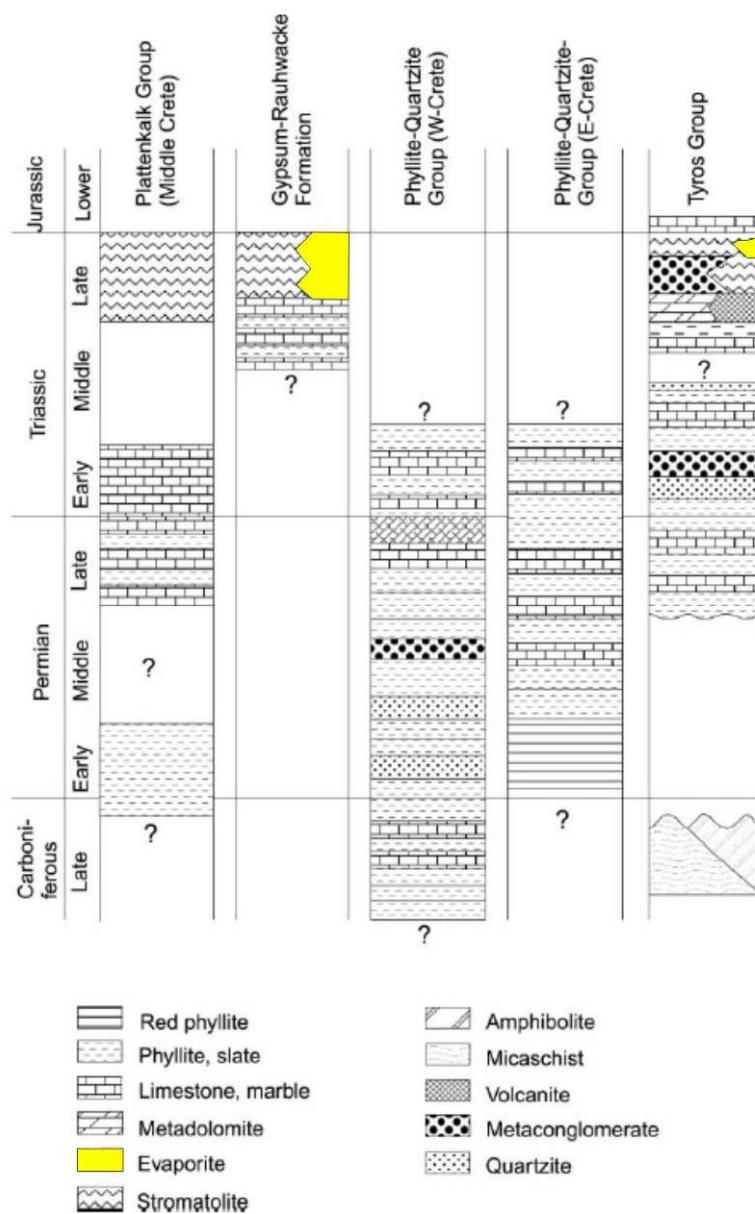
Σε μια ορυκτολογική-γεωχημική εργασία (Αντωνίου, 1987) έγινε σύγκριση των εβαποριτών της Ανατολικής Κρήτης και της Καρπάθου. Παρατηρήθηκε ότι Περμοτριαδικά κοιτάσματα της Ανατολικής Κρήτης όσο και τα φερόμενα ως Άνω-Ηωκαινικά της Καρπάθου, περιέχουν εκτός της γύψου και ανυδρίτη. Επίσης παρουσιάζουν αυξημένη συγκέντρωση Sr^{+2} (Αλτσί 1150-2335ppm, Σφάκα 820-1040ppm). Η γύψος στα κοιτάσματα αυτά αποτελεί προϊόν μετατροπής του ανυδρίτη. Στην συνέχεια παρατίθεται απόσπασμα της εργασίας για τον λόγο ότι παρουσιάζεται επιγραμματικά η γενική αντίληψη για το κοιτάσμα στην περιοχή: Το κοιτάσμα αποτελείται από έναν πυρήνα ανυδρίτη που ενυδατώθηκε και επιφανειακά μετατράπηκε σε γύψο. Μια αντίληψη που αποτελεί και το βασικό μοντέλο για το προγραμματισμό της εκμετάλλευσης του κοιτάσματος στις βορειοδυτικές παρυφές του κοιτάσματος από την εταιρία «Ιντερμπετόν», αλλά δεν

επιβεβαιώθηκε από την λεπτομερή γεωλογική χαρτογράφηση του λατομικού χώρου της ανωτέρω εταιρίας.

«...Το κατώτερο τμήμα του κοιτάσματος καθώς και το εσωτερικό του αποτελείται από ανυδρίτη. Εξωτερικά σχηματίζεται σαν περίβλημα ένα στρώμα γύψου, του οποίου το πάχος ποικίλει. Στο εξωτερικό αυτό περίβλημα διατηρούνται υπολείμματα ανυδρίτη μεγέθους μέχρι 1m³. Στο κοιτάσμα αυτό υπάρχουν εγκλωβισμένα κομμάτια μαύρου δολομίτη, τα οποία ίσως να εγκλωβίστηκαν τεκτονικά χωρίς βέβαια να αποκλείεται και η περίπτωση σχηματισμού πρωτογενών συγκριμμάτων».

Μια νέα προσέγγιση του θέματος τέθηκε με τις απόψεις των Dornsiepen & Manutsoglu (1994) και Dornsiepen et al (2001). Σύμφωνα με τους ανωτέρω ερευνητές το Φυλλιτικό Κάλυμμα που εμφανίζεται στην Νότιο Πελοπόννησο και Κρήτη αποτελείται από τις τέσσερις υποενότητες που αναφέρθηκαν παραπάνω. Η **Ομάδα του Τυρού** αποτελείται από ρηχής θάλασσας ασβεστόλιθους, δολομίτες, σχιστές αργίλλους, ψαμμίτες, κροκαλοπαγή, κατά θέσεις γύψους και ασβεσταλκαλικούς ηφαιστίτες. Έχει υποστεί μεταμόρφωση υψηλής πίεσης/χαμηλής θερμοκρασίας, που κυμαίνεται από αγχιμεταμόρφωση έως την πρασινοσχιστολιθική φάση. Στην Κρήτη, παρατηρείται πάνω σε υπολείμματα του Βαρίσκειου υποβάθρου. Τα υπολείμματα του **Βαρίσκειου** υποβάθρου αποτελούνται κυρίως από μαρμαρυγιακούς σχιστολίθους με γρανάτες και σταυρόλιθο και από αμφιβολίτες, ηλικίας Άνω Λιθανθρακοφόρο/Κάτω Πέρμιο. Αυτά τα πετρώματα αποτελούσαν κάποτε το κρυσταλλικό υπόβαθρο του Τυρού, και μαζί αυτές οι δύο υποενότητες αποτελούν τα υποκείμενα της Ομάδας της Τρίπολης. Η **ομάδα των Φυλλιτών-Χαλαζιτών** διαχωρίζεται στην ζώνη των φάσεων Ανατολικής Κρήτης και στην ζώνη των φάσεων Δυτικής Κρήτης-Πελοποννήσου. Η ανατολική ζώνη χαρακτηρίζεται από λεπτομερείς κόκκινους σχιστολίθους/φυλλίτες με ραδιολάρια που υπόκεινται μαύρων σχιστολίθων/φυλλιτών που παρεμβάλλονται με στρώματα μετα-ασβεστολίθων. Οι φάσεις αναπτύχθηκαν σε βαθύ θαλάσσιο πελαγικό περιβάλλον, κατά το Κάτω Πέρμιο ως Μέσο Τριαδικό. Η δυτική ζώνη χαρακτηρίζεται από εναλλαγές μετα-γραουβακών, μετα-ψαμμιτών, μετα-πηλιτών. Δευτερευόντως, από μετα-βασάλτες, κροκαλοπαγή και λεπτά ασβεστολιθικά στρώματα. Σπάνια παρεμβάλλονται μικρά σώματα επανακρυσταλλωμένων ασβεστολίθων. Η ηλικία της ζώνης έχει καθοριστεί σε Άνω Λιθανθρακοφόρο-Κάτω Τριαδικό. Η τεκτονικά κατώτατη ενότητα του Φυλλιτικού Καλύμματος είναι ο **σχηματισμός Γύψου-Ραουβάκη**, που αποτελείται από ελαφρώς μεταμορφωμένα λατυποπαγή διάλυσης, γύψους, δολομίτες, μαζώδεις

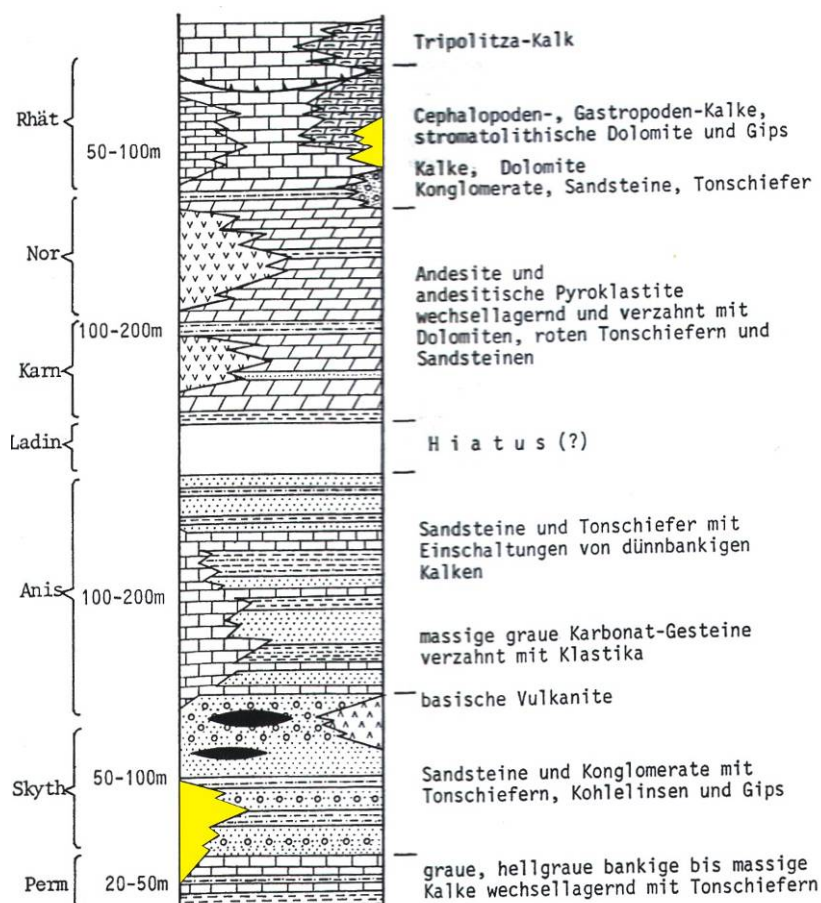
ασβεστολίθους και ασβεστιτικές μάργες με λεπτές στρώσεις ασβεστολίθων. Η απόθεση πραγματοποιήθηκε πάνω σε ανθρακική πλατφόρμα σε ρηχά θαλάσσια περιβάλλοντα. Συγκεκριμένα, η απόθεση έγινε σε περιορισμένες λιμνοθάλασσες με έντονα φαινόμενα εξάτμισης, δολομιτίωσης και απόπλυσης των εβαποριτικών στρωμάτων. Η ηλικία του σχηματισμού είναι Κάρνιο ως Λιάσσιο.



Εικόνα 2-7: Σχηματικές συγκριτικές λιθοστρωματογραφικές στήλες των μεταμορφωμένων ενοτήτων των εξωτερικών Ελληνίδων. Με κίτρινο χρώμα οι θέσεις των εβαποριτών (Dornsiepen et al., 2001)

Όπως φαίνεται από τον ανωτέρω πίνακα δεν βρέθηκαν απολιθώματα που να πιστοποιούν στην Κρήτη μια Περμική ηλικία εβαποριτών. Στην Κρήτη οι εβαποριτικές ακολουθίες εμφανίζονται κατά το ανώτερο Τριαδικό. Εάν δε συγκρίνει

κάνεις την στρωματογραφική στήλη των στρωμάτων Τυρού της Πελοποννήσου θα παρατηρήσει ότι στην ακολουθία αυτή εμφανίζονται σε δύο θέσεις εβαπορίτες: Μια κατά το Περμοτριάδικό και η δεύτερη κατά το Ραίτιο.



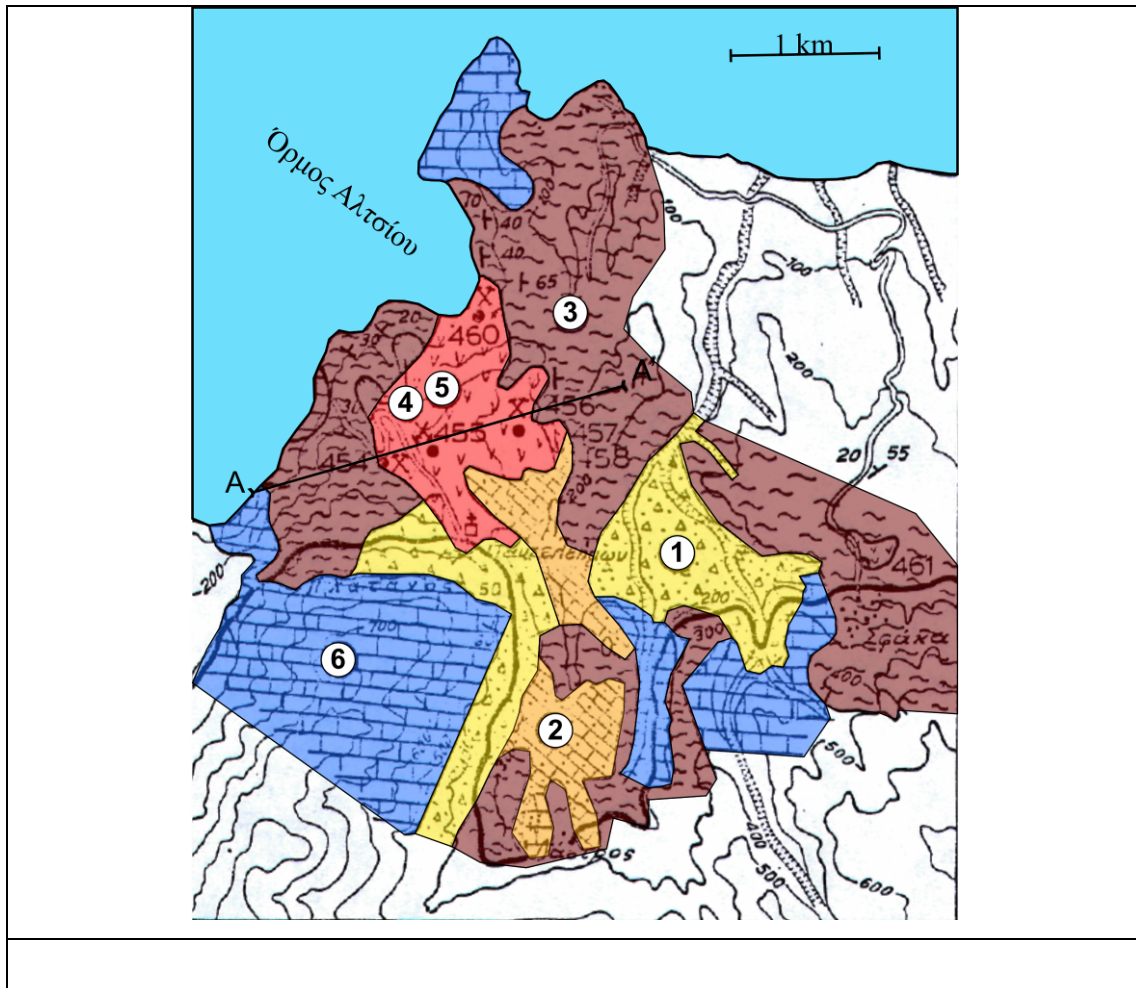
Εικόνα 2-8: Σχηματική λιθοστρωματογραφική στήλη των στρωμάτων του Τυρού. Με κίτρινο οι αποθέσεις γύψου (Γερολύματος, 1994)

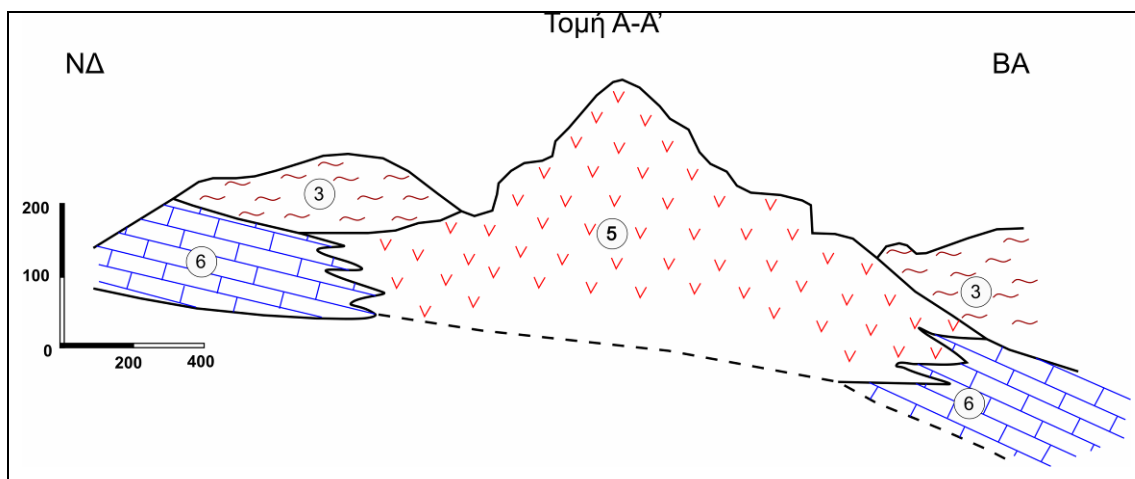
2.3 Η γεωλογία του κοιτάσματος στο Αλτσι

Στην ευρύτερη περιοχή Λάστρου-Σφάκας της Ανατολικής Κρήτης εμφανίζονται πολυάριθμες συγκεντρώσεις γύψου-ανυδρίτη Περμοτριάδικής ηλικίας, με κυριότερη εκείνη της θέσεως "Αλτσι", στον όρμο Ψείρα. Η συγκεκριμένη έχει μια αξιολογή επιφανειακή ανάπτυξη καταλαμβάνοντας μία έκταση από την κεντρική οδό στην νότια παρυφή μέχρι τη θάλασσα στον όρμο Ψείρα στη βόρεια παρυφή (Εικόνα 2-9). Γεωλογικά είναι τοποθετημένο στους κατώτερους ορίζοντες του ημιμεταμορφωμένου Φυλλιτικού Καλύματος, περιβαλλόμενο από πολυπυκνωμένους

σχιστόλιθους του ίδιου Καλύματος και νεώτερα ιζήματα όπως φαίνεται στο υπόμνημα που ακολουθεί και αντιστοιχεί στην εικόνα 2-9 (Κανάρης, 1989):

1. Σύγχρονα πλευρικά κορήματα
2. Μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι, ψαμμίτες και κροκαλοπαγή του Μειοκαίνου.
3. Πολυπτυχωμένοι σχιστόλιθοι του ημιμεταμορφωμένου Καλύματος των φυλλιτών (Περμοτριάδικό.)
4. Κυψελώδεις τεφροί σκούροι δολομίτες που ανήκουν στους κατώτερους ορίζοντες του ημιμεταμορφωμένου Φυλλιτικού Καλύματος
5. Εβαπορίτες (γύψος-ανυδρίτης) (Περμοτριάδικό).
6. Νεοπαλαιοζωϊκοί πλακώδεις κρυσταλλικοί ασβεστόλιθοι με πυριτολίθους.





Εικόνα 2-9: Γεωλογικό σκαρίφημα της περιοχής εμφάνισης γύψου-ανυδρίτη στο Αλτσι και η αντίστοιχη τομή Α-Α' (Κανάρης, 1989).

Κεφάλαιο 3 : Τρισδιάστατη Μοντελοποίηση

3.1 Εισαγωγή

Η τρισδιάστατη γεωλογική προσομοίωση (3D geological modeling) με τη βοήθεια ηλεκτρονικού υπολογιστή άρχισε να εφαρμόζεται και να εξελίσσεται από και για τις ανάγκες του μεταλλευτικού κλάδου στις αρχές της δεκαετίας του 1960. Η ραγδαία εξέλιξη στον τομέα των ψηφιακών ηλεκτρονικών υπολογιστών έδωσε ώθηση στην εφαρμογή σχεδιαστικών μεθόδων με την βοήθεια υπολογιστή (CAD - Computer Aided Design).

Η γεωλογική μοντελοποίηση πραγματοποιείται με τη χρήση εξειδικευμένων πακέτων λογισμικού (π.χ. RockWorks, SURPAC VISION, lynx, DATA MINE, GOCAD κ.α.). Τα πακέτα αυτά έχουν έναν πυρήνα CAD εμπλουτισμένο με ειδικά εργαλεία και συναρτήσεις γεωμετρικής και χαρτογραφικής επεξεργασίας (τεκτονική ανάλυση, μοντελοποίηση ρηγμάτων, χαρτογραφικά συστήματα συντεταγμένων). Εκτός από το σχεδιαστικό πυρήνα, τα πακέτα αυτά συμπληρώνονται από τμήματα στατιστικής επεξεργασίας και γεωστατιστικής μοντελοποίησης για την εκτίμηση των ιδιοτήτων των γεωλογικών σχηματισμών (γεωχημική σύσταση, μηχανικές ιδιότητες, περατότητα κ.ά.), από εξειδικευμένη βάση δεδομένων για γεωτρήσεις (τυποποιημένο format σε όλα τα συστήματα), από χαρτογραφικό τμήμα, από ειδικό λογισμικό παρουσίασης (visualization). Επίσης στα περισσότερα πακέτα παρέχεται και η δυνατότητα επέκτασης του συστήματος για απόλυτα εξειδικευμένες εφαρμογές με τη χρήση της γλώσσας macro-προγραμματισμού του λογισμικού.

3.2 Γεωμετρικό Μοντέλο

Κατά τη γεωμετρική προσομοίωση μιας γεωλογικής δομής μεταβιβάζεται το γεωλογικό πρότυπο-ομοίωμα (geological model) σε ένα τρισδιάστατο ψηφιακό γεωμετρικό ομοίωμα. Τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή αυτού του μοντέλου είναι η τοπογραφία, η γεωλογική χαρτογράφηση, γεωλογικές τομές, γεωφυσικά στοιχεία, στοιχεία γεωτρήσεων και τα υπάρχοντα βιβλιογραφικά δεδομένα για την περιοχή.

Η μέθοδος της τρισδιάστατης γεωλογικής απεικόνισης παρουσιάζει τα εξής πλεονεκτήματα σε σύγκριση με την κλασσική, στατικού τύπου απεικόνιση (γεωλογικό χάρτη):

- ❖ Ο μελετητής υποστηρίζεται στην κατασκευή ενός λογικά ορθού προτύπου. Σφάλματα και αντινομίες γίνονται εμφανή κατά τη διαδικασία της γεωμετρικής προσομοίωσης και μπορούν να διορθωθούν.
- ❖ Στα πρώιμα στάδια της μελέτης υποστηρίζονται οι αποφάσεις για τη συλλογή επιπλέον στοιχείων, ενώ η διαδικασία για μετατροπή, ενημέρωση, και αναθεώρηση του γεωλογικού μοντέλου γίνεται γρήγορα και αξιοποιώντας όλα τα προϋπάρχοντα στοιχεία,
- ❖ Τα σφάλματα ερμηνείας, σε σχέση με τον κλασσικό γεωλογικό χάρτη περιορίζονται αισθητά, επειδή στο ψηφιακό ομοίωμα μεταφέρονται και συνδυάζονται με μεγαλύτερη ακρίβεια τόσο τα συλλεγόμενα πρωτογενή στοιχεία, τα υπάρχοντα βιβλιογραφικά δεδομένα, όσο και οι εμπειρίες και απόψεις του ερευνητή.
- ❖ Το γεωλογικό μοντέλο δεν υποστηρίζεται μόνο από αντιπροσωπευτικές γεωλογικές τομές αλλά από την δυνατότητα κατασκευής οποιασδήποτε τομής η τομών σε κάθε διεύθυνση.
- ❖ Οι πληροφορίες που περιέχονται στο πρότυπο μπορούν εύκολα να αναπαραχθούν και να παρουσιαστούν π.χ. με τη μορφή τομών σε διάφορες διευθύνσεις, υπεδαφικών χαρτών, τρισδιάστατων μπλοκ διαγραμμάτων.
- ❖ Γίνεται δυνατή η εύκολη και ακριβής ποσοτικοποίηση της γεωλογικής πληροφορίας (όγκοι, πάχη, άλμα ρηγμάτων, κλπ.) και η αντίστοιχη παρουσίαση (π.χ. χάρτες ισοπαχών, ομαδοποίηση, ή γενεές ρηγμάτων).
- ❖ Γίνεται εύκολη η ενσωμάτωση ψηφιακών εικόνων και στοιχείων από τηλεπισκοπικούς δορυφόρους, ψηφιακά φωτογραμμετρικά όργανα, μοντέρνα τοπογραφικά όργανα, και δορυφορικά συστήματα εντοπισμού (GPS).

Το αποτέλεσμα όλων αυτών των εργασιών είναι το γεωμετρικό μοντέλο, που αποτελεί τη βάση για τις παραπέρα εργασίες της εκτίμησης ιδιοτήτων (μοντέλο ιδιοτήτων).

3.3 Μοντέλο ιδιοτήτων

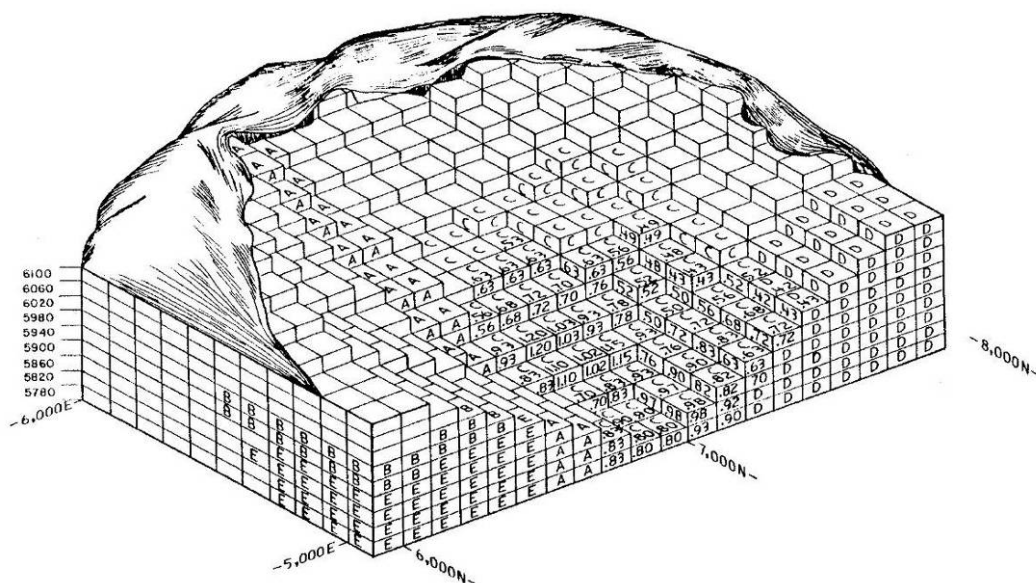
Τα γεωλογικά μοντέλα διαφοροποιούνται από τις περισσότερες βιομηχανικές CAD εφαρμογές επειδή εκτός από τη γεωμετρία πρέπει να αναπαριστούν και την κατανομή στο χώρο των ιδιοτήτων (διακριτών ή συνεχών) του γεωλογικού σχηματισμού που προσομοιώνουν. Οι διακυμάνσεις των συνεχών χαρακτηριστικών στο χώρο μοντελοποιούνται με το διαχωρισμό σε διακριτούς όγκους (κυψέλες) ομοιόμορφες ή και μεταβλητού μεγέθους. Στον όγκο κάθε κυψελίδας του χώρου οι κατανομή των παραμέτρων θεωρείται ομογενής.

3.3.1 Κανονικά μοντέλα 3D σταθερού μπλοκ

Σε αυτήν την κατηγορία μοντέλων το γεωλογικό σώμα χωρίζεται σε κυψέλες ίσου όγκου και ίδιου σχήματος (Εικόνα 3-1). Ο τρόπος αυτός επιτρέπει την εύκολη εκτίμηση της χωρικής κατανομής των ιδιοτήτων του γεωλογικού σώματος από σημειακές μετρήσεις (π.χ. γεωτρήσεις) με τη χρήση μεθόδων μαθηματικής παρεμβολής και γεωστατιστικής (IDW, Kriging). Μειονέκτημα της μεθόδου είναι η αδρή προσέγγιση της γεωμετρίας στα όρια του μοντέλου, σχετικά μεγάλος χώρος αποθήκευσης στον υπολογιστή και μέτρια αποτελέσματα σε περίπτωση ανομοιομερούς κατανομής των δειγμάτων.

3.3.2 Κανονικά μοντέλα 3D μεταβλητού μπλοκ

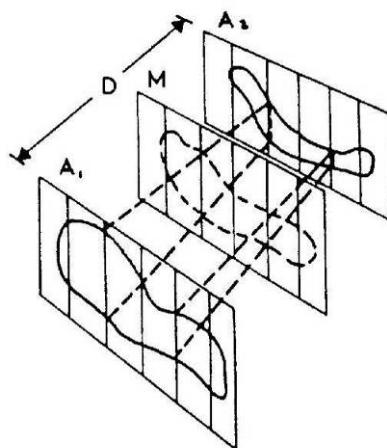
Σε αυτά τα μοντέλα γειτονικά μπλοκ με ίδιες ιδιότητες ομαδοποιούνται σε ένα μεγαλύτερο μπλοκ, μειώνοντας σημαντικά τον απαιτούμενο χώρο αποθήκευσης σε σχέση με τα μοντέλα σταθερού μπλοκ. Τα μπλοκ έχουν ίδιο σχήμα αλλά διαφορετικό όγκο. Επιπλέον επιτρέπουν την καλύτερη προσέγγιση της γεωμετρίας, επιλέγοντας μικρότερο μέγεθος μπλοκ στα όρια του μοντέλου. Είναι συμβατά τόσο με λύσεις των εξισώσεων ροής και θερμικής διάχυσης και μεταφοράς με πεπερασμένες διαφορές όσο και με πεπερασμένα στοιχεία.



Εικόνα 3-1: Προσομοίωση με τη μέθοδο κανονικού μοντέλου 3D σταθερού μπλοκ

3.3.3 Μη κανονικά μοντέλα 3D μεταβλητού μπλοκ

Με αυτά τα μοντέλα τα γεωλογικά αντικείμενα διακριτοποιούνται με μπλοκ διαφορετικού όγκου και σχήματος και έτσι προσαρμόζονται καλύτερα στη διαφορετική πυκνότητα και είδος των διαθέσιμων στοιχείων (π.χ. γεωτρήσεις και γεωλογικές τομές). Η πιο συνηθισμένη υλοποίηση αυτής της προσέγγισης είναι η μέθοδος των διαδοχικών τομών (Εικόνα 3-2). Με αυτήν ένα γεωλογικό σώμα κατασκευάζεται με τη σύνδεση διαδοχικών παράλληλων τομών. Η μέθοδος εφαρμόζεται περισσότερο για γεωμετρική μοντελοποίηση και λιγότερο για μοντέλο ιδιοτήτων, αφού προϋποθέτει ενιαίες ιδιότητες σε όλη την έκταση της τομής.



Εικόνα 3-2: Μοντελοποίηση με τη μέθοδο των διαδοχικών τομών

3.4 Εκτίμηση ιδιοτήτων

Ανάλογα με τα διαθέσιμα στοιχεία και το στάδιο της μελέτης επιλέγονται διάφοροι τρόποι εκτίμησης των ιδιοτήτων ώστε να δοθούν τιμές στα μπλοκ του μοντέλου.

Στο πρώτο στάδιο, πριν από την εκτίμηση των τιμών των μπλοκ, γίνεται στατιστική επεξεργασία των στοιχείων (μορφή κατανομής, μέσος όρος, διασπορά), έλεγχος για πιθανές τιμές εκτός των ορίων. Αυτό το στάδιο είναι απαραίτητο για την επιλογή της μεθόδου επεξεργασίας, επειδή ορισμένες μέθοδοι απαιτούν συγκεκριμένες κατανομές των δεδομένων. Ακόμη τα στατιστικά χαρακτηριστικά των δεδομένων που θα προκύψουν από την εκτίμηση πρέπει να είναι συγκρίσιμα με αυτά του αρχικού δείγματος.

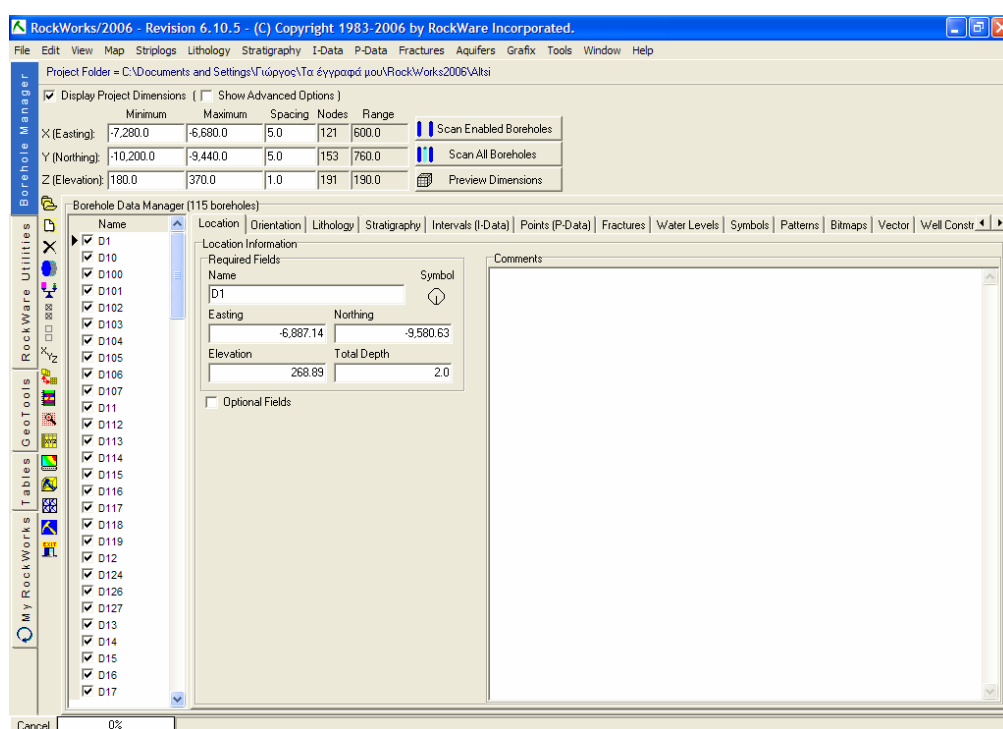
Οι πιο απλές μέθοδοι εκτίμησης είναι αυτές του κοντινότερου δείγματος (nearest neighbor) και των πολυγώνων επίδρασης των γεωτρήσεων. Πιο σύνθετες μέθοδοι είναι η σταθμισμένη αντίστροφη απόσταση (Inverse Distance Weighting – IDW), που μειώνει την επίδραση των δειγμάτων στην εκτιμώμενη τιμή ανάλογα με την απόστασή τους από το μπλοκ και η μέθοδος Kriging. Η μέθοδος Kriging βασίζεται στη γεωστατιστική δομική ανάλυση και προϋποθέτει την ύπαρξη αρκετών στοιχείων, για τον υπολογισμό της συνάρτησης του βαριόγραμματος που περιγράφει τη μεταβολή του συσχετισμού των στοιχείων στο χώρο. Το βαριόγραμμα είναι διανυσματική συνάρτηση της απόστασης μεταξύ των δειγμάτων. Σε περίπτωση που μπορεί να υπολογιστεί το τρισδιάστατο ελλειψοειδές των βαριόγραμμάτων, η μέθοδος Kriging δίνει πολύ καλά αποτελέσματα και επιτυγχάνεται αξιόπιστη αναπαράσταση της τρισδιάστατης δομής των ιδιοτήτων του γεωλογικού σώματος. Επιπλέον η μέθοδος παρέχει και τιμές του σφάλματος εκτίμησης, για καλύτερο έλεγχο της αξιοπιστίας των αποτελεσμάτων.

3.5 Το λογισμικό Rock Works 2006

Στην παρούσα εργασία, όπως θα αναπτυχθεί στα επόμενα κεφάλαια, αναφέρεται η κατασκευή ψηφιακής βάσης τοπογραφικών και γεωχημικών δεδομένων, καθώς και του τρισδιάστατου μοντέλου της κατανομής των θεικών σχηματισμών. Για την κατασκευή τους χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό «Rock Works 2006» της εταιρίας «Rock Ware».

Το λογισμικό Rock Works 2006 αποτελεί εργαλείο αποθήκευσης, διαχείρισης, ανάλυσης και απεικόνισης γεωλογικών δεδομένων. Συγκεκριμένα, το λογισμικό αυτό ειδικεύεται στην απεικόνιση υποεπιφανειακών δεδομένων υπό μορφή γεωτρήσεων, τομών, επάλληλων τομών (fence diagrams), στερεών μοντέλων και χαρτών τόσο σε διοδιάστατο όσο και σε τρισδιάστατο περιβάλλον. Οι κύριες σελίδες εργασίας του λογισμικού είναι η «Borehole data manager» και η «Rock Ware Utilities».

Η «Borehole data manager» (Εικόνα 3-3) χρησιμεύει στην εισαγωγή δεδομένων γεωτρήσεων: γεωφυσικές / γεωτεχνικές / γεωχημικές μετρήσεις, στρωματογραφικές επαφές και λιθολογικές περιγραφές πυρήνων, πιεζομετρικές επιφάνειες και διακλάσεις. Με τα δεδομένα αυτά κατασκευάζονται λιθολογικοί / στρωματογραφικοί χάρτες, απεικονίσεις χωροθέτησης γεωτρήσεων, ισοπληθείς χάρτες, τομές προς την επιθυμητή κάθε φορά διεύθυνση και τρισδιάστατα μοντέλα.

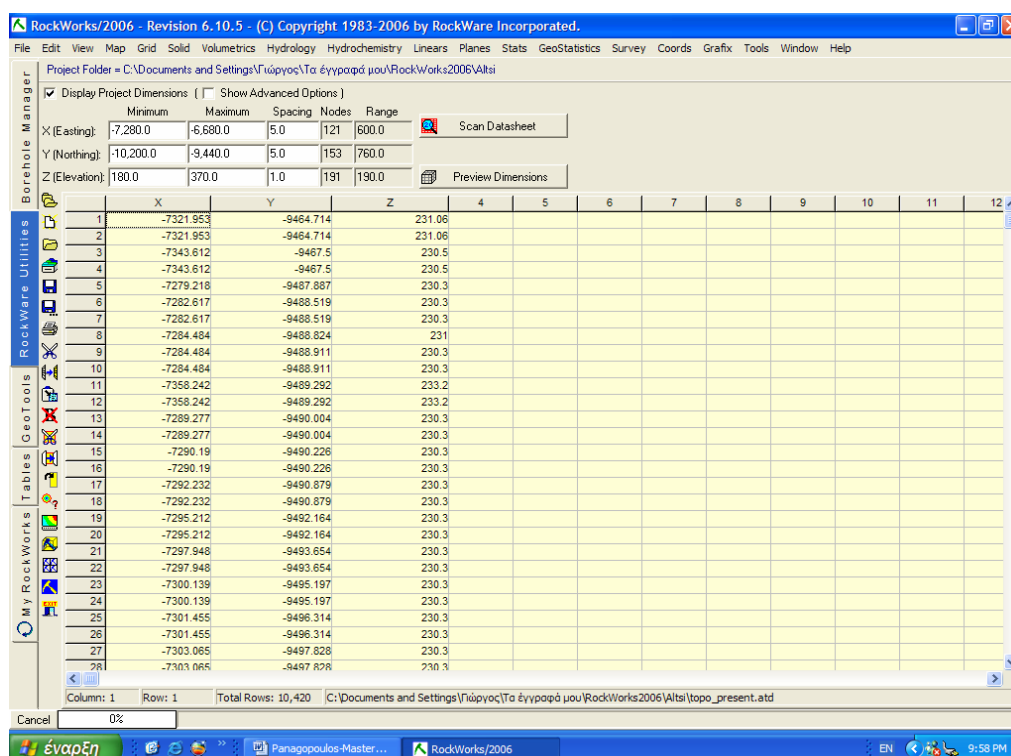


Εικόνα 3-3: Περιβάλλον εργασίας της σελίδας «Borehole data manager».

Η «Rock Ware Utilities» (Εικόνα 3-4) είναι ένα απλό φύλλο εισαγωγής δεδομένων παρόμοιο με τα φύλλα του MS Excel. Χρησιμοποιείται στην κατασκευή χαρτών και τρισδιάστατων κατανομών από δεδομένα που δεν προέρχονται από γεωτρήσεις, όπως μετρήσεις υψομέτρων για την κατασκευή χαρτών ισοϋψών και τρισδιάστατων ψηφιακών μοντέλων επιφάνειας (DEMs ή DTMs). Επιπλέον, περιέχει

εργαλεία δημιουργίας στερεών μοντέλων, στατιστικής επεξεργασίας, δισδιάστατης και τρισδιάστατης ανάλυσης διαρρήξεων (ροδογράμματα, στερεοδιαγράμματα, χάρτες γραμμώσεων), υδρολογικών και υδρογεωλογικών διαγραμμάτων (διαγράμματα ροής, διαγράμματα Piper και Stiff).

Για τις ανάγκες της παρούσας εργασίας χρησιμοποιήθηκαν και οι δύο κύριες σελίδες του λογισμικού. Συγκεκριμένα, τα γεωχημικά δεδομένα του λατομείου εισήχθησαν στην σελίδα «Borehole data manager» για την κατασκευή του μοντέλου των γεωχημικών ιδιοτήτων. Το μοντέλο αυτό σε συνδυασμό με τα τρισδιάστατα ψηφιακά ανάγλυφα τόσο της σημερινής τοπογραφίας του λατομείου όσο και της τοπογραφίας εξόφλησης του λατομείου, που κατασκευάστηκαν στην σελίδα «Rock Ware Utilities» από τα τοπογραφικά στοιχεία, οδήγησαν στην δημιουργία των μοντέλων χωρικής κατανομής της γύψου και του ανυδρίτη και στις τελικές γεωτρητικές προτάσεις για το λατομείο στο Αλτοί. Επιπλέον, κατασκευάστηκε η ψηφιακή τρισδιάστατη επιφάνεια της ευρύτερης περιοχής του λατομείου με υπερθετιμένους τους αντίστοιχους ορθοφωτοχάρτες, με σκοπό να εντοπιστούν γεωλογικές δομές μεγάλης κλίμακας.



Εικόνα 3-4: Περιβάλλον εργασίας της σελίδας «Rock Ware Utilities».

Κεφάλαιο 4 : Περιγραφή εργασιών - Αποτελέσματα








Οι εργασίες που ακολουθήθηκαν για την κατανόηση της γεωλογικής ιστορίας του κοιτάσματος γύψου στο Αλτσι και της απεικόνισης της μετάβασης γύψου-ανυδρίτη στο εν λόγω λατομείο είναι:

- ❖ Γεωλογική χαρτογράφηση λατομικού χώρου, κλίμακας 1:500.
- ❖ Κατασκευή τεκτονικών στερεοδιαγραμμάτων
- ❖ Μικροσκοπική εξέταση των 5 αντιπροσωπευτικών λιθολογικών σχηματισμών που εμφανίζονται στον λατομικό χώρο, με χρήση πολωτικού μικροσκοπίου διερχόμενου φωτός.
- ❖ Πραγματοποίηση σημειακής δειγματοληψίας (spot sampling) 100 δειγμάτων, επί καννάβου διαστάσεων 40x40m.
- ❖ Γεωχημική ανάλυση των 100 σημειακών δειγμάτων (XRF), και των 5 αντιπροσωπευτικών λιθολογικών σχηματισμών (XRD). (εργαστήρια TITAN)
- ❖ Δημιουργία ψηφιακών αναφλύφων επιφανείας (DTMs) τόσο της παρούσας και τελικής μορφής του λατομικού χώρου, όσο και της ευρύτερης περιοχής.
- ❖ Γεωστατιστική ανάλυση των νέων ορυκτολογικών αναλύσεων μαζί με αναλύσεις πυρήνων γεωτρήσεων που είχαν πραγματοποιηθεί παλαιότερα από την εταιρία.
- ❖ Τριοδιάστατες απεικονίσεις της κατανομής γύψου, ανυδρίτη και των μεταβατικών σχηματισμών στον λατομικό χώρο.

4.1 Γεωλογική χαρτογράφηση του λατομείου κλίμακας 1:500

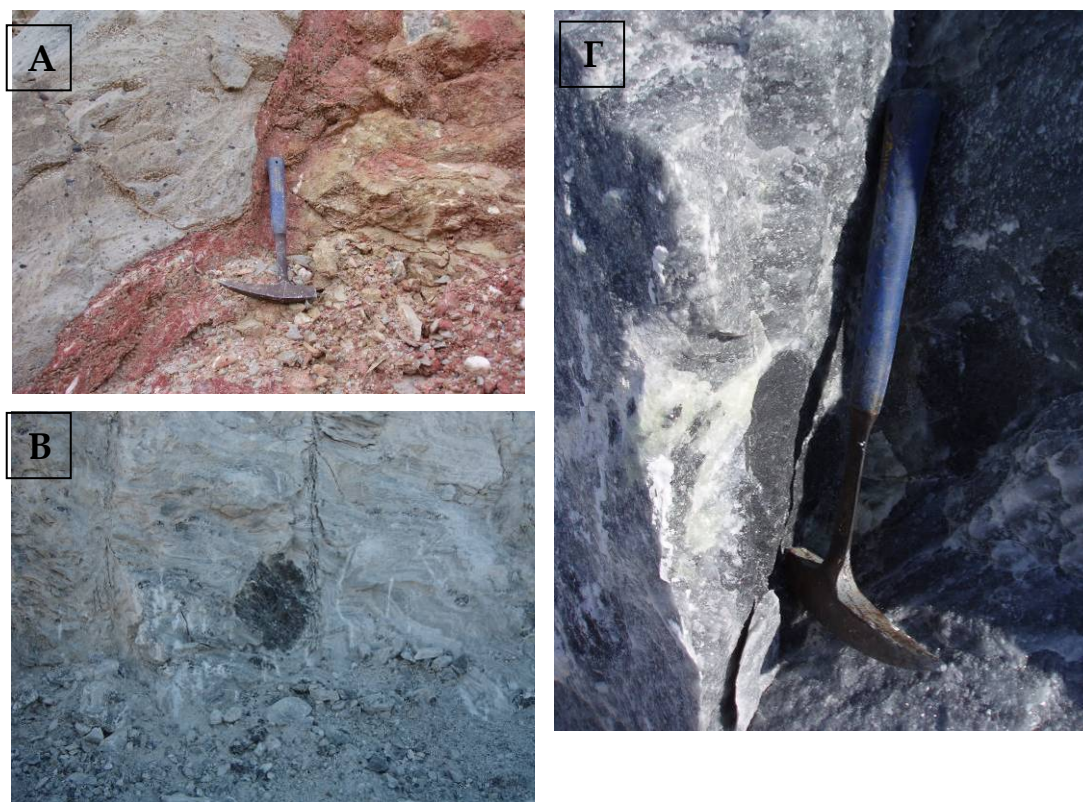
Το κοιτάσμα γύψου-ανυδρίτη στο Αλτσι αναφέρεται στην βιβλιογραφία ότι «εμφανίζεται στο κατώτερο τμήμα της φυλλιτικής-χαλαζιτικής ενότητας», από τους οχιστόλιθους της οποίας περιβάλλεται. Το κοιτάσμα αποτελείται από τους επιμέρους σχηματισμούς της γύψου ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), του ανυδρίτη (CaSO_4) και ενός μεταβατικού σχηματισμού που αντιπροσωπεύει το μεταβατικό στάδιο ενυδάτωσης του ανυδρίτη προς γύψο. Συχνή είναι η παρουσία δολομιτικών τεμαχών εντός και των τριών προαναφερθέντων θεικών σχηματισμών, μεγέθους της τάξεως του εκατοστού ως μέτρου.

Στην αρχική γεωλογική χαρτογράφηση αποτυπώθηκαν οι 7 αντιπροσωπευτικοί σχηματισμοί που παρατηρήθηκαν κατά τις εργασίες πεδίου στον λατομικό χώρο. Η διάκριση των αντιπροσωπευτικών σχηματισμών και η επακόλουθη χαρτογράφησή τους βασίστηκε αρχικά στα μακροσκοπικά χαρακτηριστικά τους και μόνο. Σε επόμενη φάση, όπως θα αναφερθεί παρακάτω, χρησιμοποιήθηκαν και ορυκτολογικές αναλύσεις των αντιπροσωπευτικών σχηματισμών για την ομαδοποίησή τους. Παρακάτω παρατίθεται το σύνολο των αντιπροσωπευτικών σχηματισμών που χαρτογραφήθηκαν και οι αντιστοιχίες τους στα χρώματα του γεωλογικού χάρτη.

	Ανοιχτόχρωμα θειικά με τεμάχη δολομιτών
	Μαλακή γύψος
	Σκληρή γύψος
	Ανυδρίτης
	Ανοιχτόχρωμα θειικά με σκούρες λαμίνες
	Δολομίτες
	Ασβεστοφυλλίτες

Τα ανοιχτόχρωμα θειικά με τεμάχη δολομιτών έχουν χρώμα ανοιχτού γκρι και φιλοξενούν τεμάχη σκούρου δολομιτή μεγέθους της τάξεως του εκατοστού (Εικόνα 4-1 Α). Τα ανοιχτόχρωμα θειικά με σκούρες λαμίνες έχουν χρώμα λευκό ως λευκότεφρο με σκούρες έως ανοιχτού γκρι λαμίνες, πιθανής δολομιτικής και μαγνησιτικής σύστασης ή ακόμα και θειικής και ανυδριτικής σύστασης (Εικόνα 4-1 Β). Η «εύθραυστη - μαλακή» γύψος έχει χρώμα λευκό ως λευκότεφρο χωρίς ανθρακικά εγκλείσματα. Οι παραπάνω τρεις σχηματισμοί θραύονται εύκολα με το σφυρί, ενώ η λευκή ως λευκότεφρη αδροκρυσταλλική σκληρή γύψος, εμφανίζεται πιο συμπαγοποιημένη. Η τελευταία ενδέχεται να είναι το γνωστό αλάβαστρο, πράγμα που θα διαπιστωθεί από την μικροσκοπική ανάλυση. Ο πιο σκληρός σχηματισμός θεικών είναι ο ανυδρίτης (Εικόνα 4-1 Γ). Εμφανίζεται ως αδροκρυσταλλικός σκούρος γκρι που περιέχει συχνά τεμάχη δολομίτη. Οι σκούροι δολομίτες παρουσιάζονται πάντα στο λατομικό χώρο ως τεμάχη μεγέθους της τάξεως από εκατοστό ως και μέτρου που φιλοξενούνται σε θειικούς σχηματισμούς και ποτέ ως ξεχωριστό διακριτό στρώμα (Εικόνα 4-1 Β). Οι ασβεστοφυλλίτες και οι σχιστόλιθοι, που ανήκουν στην

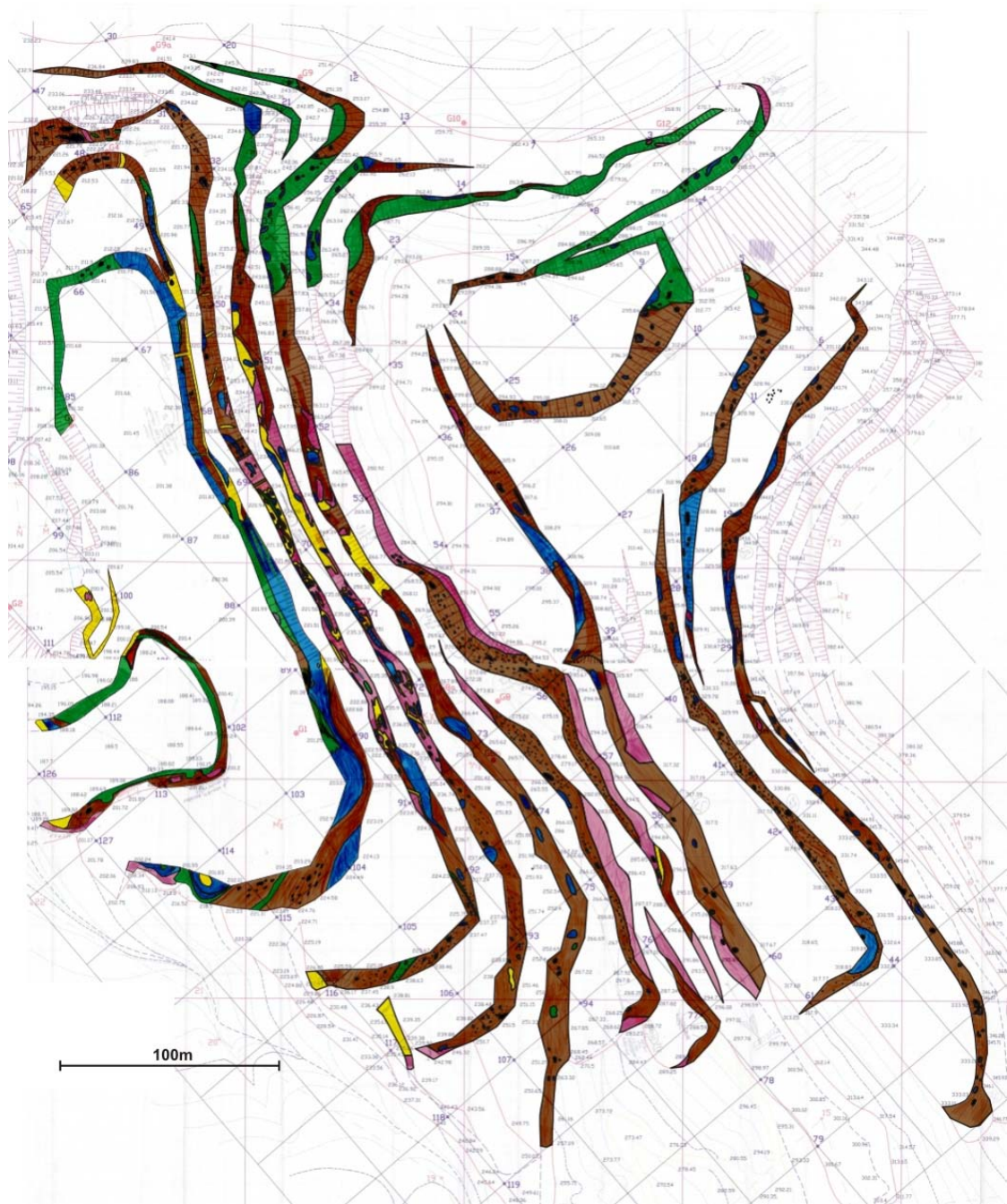
φυλλιτική-χαλαζιτική σειρά, περιβάλλουν τους προαναφερθέντες σχηματισμούς και ειδικά κοντά στην επαφή τους εμφανίζουν ερυθρώδες χρώμα (Εικόνα 4-1 Α).



Εικόνα 4-1: Χαρακτηριστικοί σχηματισμοί στον λατομικό χώρο. Α) Επαφή ανοιχτόχρωμων θεικών που περιέχουν τεμάχια σκούρου δολομίτη (αριστερό τμήμα φωτογραφίας) με ερυθρούς ασβεστοφυλλίτες που ανήκουν στην φυλλιτική-χαλαζιτική σειρά (δεξιό τμήμα φωτογραφίας). Β) Λευκά ως λευκότεφρα θειικά με σκούρες ως ανοιχτού γκρι λαμίνες. Παρατηρείται επίσης σκούρο δολομιτικό τέμαχος στο κέντρο της φωτογραφίας το μέγιστο μήκος του οποίου είναι περίπου 1m. Γ) Αδροκρυσταλικός σκούρος γκρι ως μπλε ανυδρίτης

Η κλίμακα του τοπογραφικού χάρτη που πραγματοποιήθηκε η αρχική γεωλογική χαρτογράφηση ήταν 1:500. Για την δημιουργία του χρησιμοποιήθηκε ο τοπογραφικός χάρτης του λατομείου κλίμακας 1:1000 μεγενθυμένος κατά 100%. Οι λιθολογικές ενότητες χαρτογραφήθηκαν στα μέτωπα όλων των βαθμίδων του λατομείου. Το αποτέλεσμα της γεωλογικής χαρτογράφησης παρουσιάζεται στην εικόνα 4-2.

Στον αρχικό γεωλογικό χάρτη παρατηρούνται οι έντονες εναλλαγές των σχηματισμών κυρίως στο κεντρικό τμήμα του χάρτη. Το τμήμα αυτό αποτελείται από μέτωπα εκμετάλλευσης τα οποία είναι ανενεργά για μεγάλο χρονικό διάστημα και καθώς παρατηρήθηκε είχαν υποστεί εκτεταμένη επιφανειακή γυψοποίηση. Κατά τα άλλα, ο κυρίαρχος σχηματισμός είναι τα ανοιχτόχρωμα θειικά με σκούρες λαμίνες



Εικόνα 4-2: Αρχική γεωλογική χαρτογράφηση

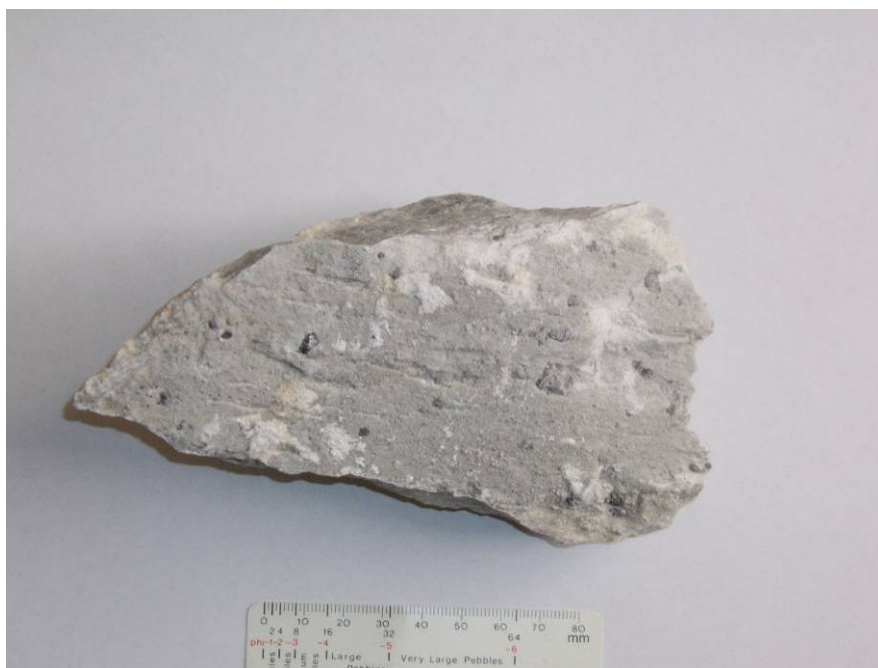
που εμφανίζονται σε όλη την έκταση του λατομείου. Τα ανοιχτόχρωμα θεικά με δολομιτικά τεμάχη εμφανίζονται κυρίως στο βόρειο τμήμα του λατομείου καθώς και στα πρανή των βαθμίδων 200m και 190m. Οι ανυδριτικοί όγκοι εμφανίζονται κυρίως στο πρανές της βαθμίδας 200m και στις ανώτερες βαθμίδες καταλαμβάνει μικρότερα τμήματα. Η μαλακή γύψος έχει μικρή εμφάνιση που περιορίζεται κυρίως στο κεντρικό τμήμα του λατομείου, που όπως αναφέρθηκε και παραπάνω έχει υποστεί έντονη γυψοποίηση. Η σκληρή γύψος εμφανίζεται επίσης στο κεντρικό

τμήμα του λατομείου καθώς και στο νότιο τμήμα στα πρανή των βαθμίδων από 265m ως 300m. Τα τεμάχια των δολομιτών είναι διεσπαρμένα σε όλο το λατομικό χώρο. Το σύνηθες μέγεθός τους είναι της τάξεως των εκατοστών. Σημειώνεται ότι το μέγεθός τους και η συχνότητά τους παρατηρήθηκε ότι αυξάνεται στις ανώτερες βαθμίδες του ανατολικού τμήματος καθώς και στο πρανές της βαθμίδας 220m, περίπου 15m βορειοδυτικότερα από την γεώτρηση G4. Τέλος, συχνή είναι η παρουσία μικροπτυχώσεων στα ανοιχτόχρωμα θειικά με σκούρες λαμίνες. Οι μικροπτυχώσεις αυτές δεν οφείλονται απαραίτητα σε τεκτονικές πιέσεις. Η παραμορφώσεις αυτές μπορεί να προκαλούνται από (Bachmann & Aref, 2005):

1. Την διαδικασία αμφίδρομης μετάβασης γύψου-ανυδρίτη.
2. Την ανάπτυξη δευτερογενούς θειικού στρώματος στους πόρους των ήδη αποτιθέμενων ιζημάτων.
3. Την διάλυση των πιο ευδιάλυτων αλάτων.
4. Σεισμικά γεγονότα κατά την διάρκεια της ιζηματογένεσης καθώς και μετά από αυτήν, για το χρονικό διάστημα που τα ιζήματα δεν έχουν συμπαγοποιηθεί πλήρως.

Το επόμενο βήμα ήταν η συλλογή δειμάτων κάθε αντιπροσωπευτικού σχηματισμού έτσι ώστε να υποβληθούν σε γεωχημική ανάλυση, έτσι ώστε να διαπιστωθεί αν μπορεί να πραγματοποιηθεί ομαδοποίηση των αρχικών σχηματισμών που παρατηρήθηκαν. Τα δείγματα που αναλύθηκαν ονομάστηκαν ως Ref 1, Ref 2, Ref 3, Ref 5 και Ref 6 για τους σχηματισμούς αντίστοιχα των ανοιχτόχρωμων θεικών με τεμάχια δολομιτών, των δολομιτών, των ανοιχτόχρωμων θεικών με σκούρες λαμίνες, της μαλακής/σκληρής γύψου και του ανυδρίτη. Σημειώνεται ότι στο εξής η μαλακή και σκληρή γύψος θα θεωρούνται ως μια και μόνο χαρακτηριστική λιθολογία, υπό την ονομασία Ref 5, δεδομένου ότι η μοναδική διαφορά τους έγκειται στην σκληρότητά τους που δεν επηρεάζει τον σκοπό της παρούσας εργασίας. Τα δείγματα αναλύθηκαν με χρήση XRD στα εργαστήρια της εταιρίας «TITAN». Παρακάτω παρουσιάζεται κάθε δείγμα μαζί με την φωτογραφία και την ορυκτολογική του ανάλυση.

Ref 1



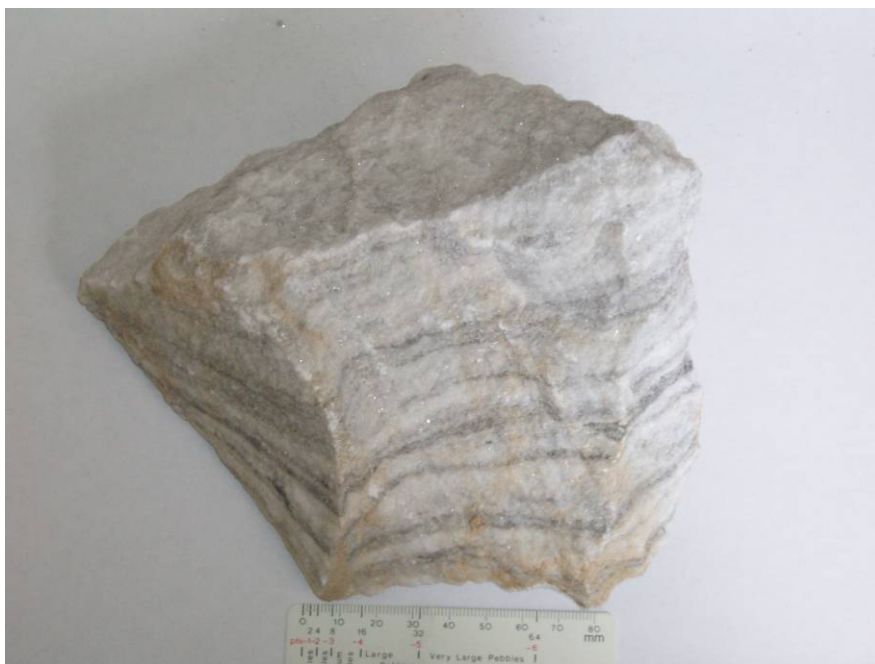
Γύψος	Ανυδρίτης	Ασβεσίτης	Δολομίτης	Μαγνησίτης	Αλβίτης	Ιλλίτης	Χαλαζίας
6.2%	76.4%	-	9.3%	4%	0.7%	2.9%	0.5%

Ref 2



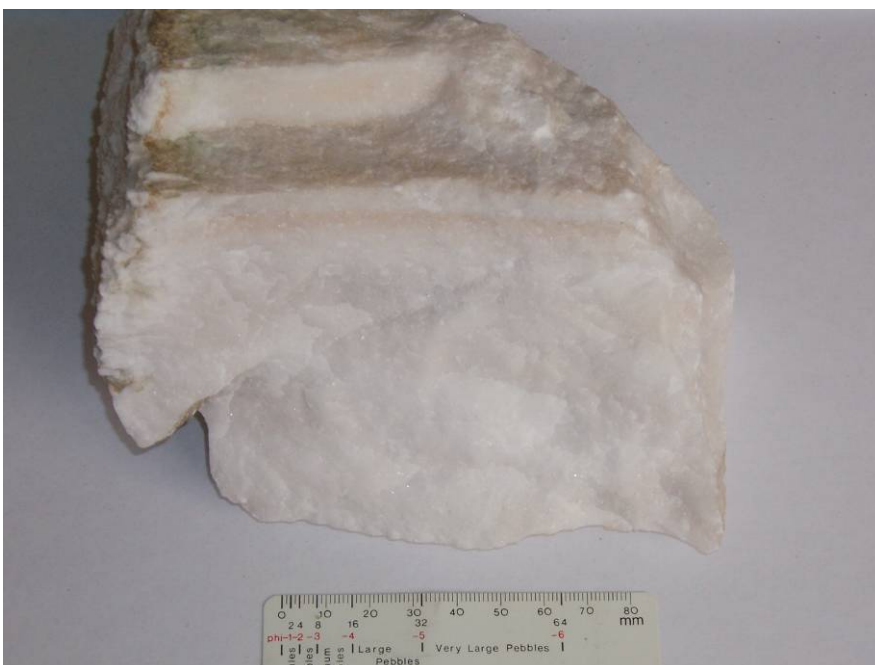
Γύψος	Ανυδρίτης	Ασβεσίτης	Δολομίτης	Μαγνησίτης	Αλβίτης	Ιλλίτης	Χαλαζίας
25.1%	-	4%	70.5%	-	-	0.4%	-

Ref 3



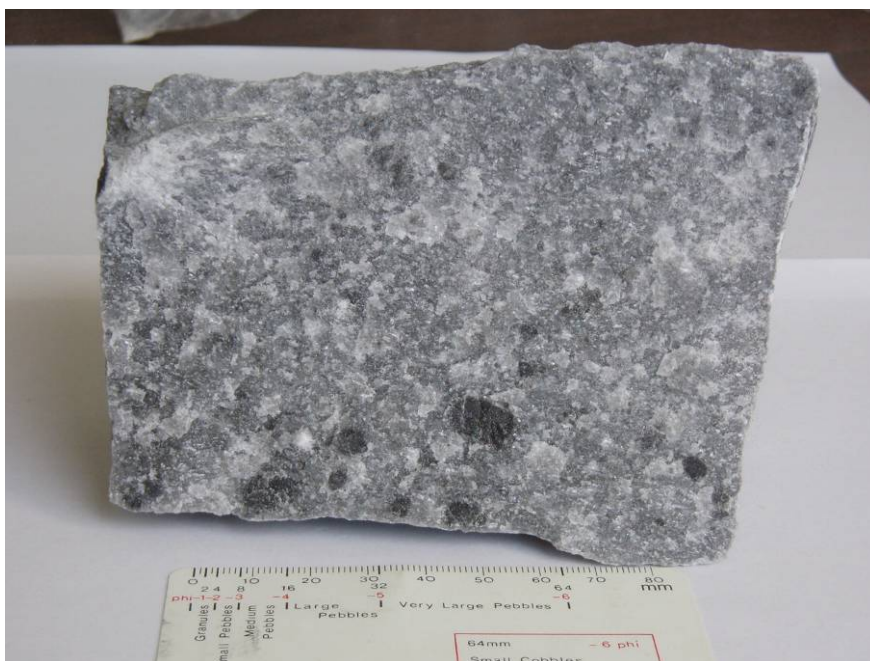
Γύψος	Ανυδρίτης	Ασβεστίτης	Δολομίτης	Μαγνησίτης	Αλβίτης	Ιλλίτης	Χαλαζίας
95.6%	0.6%	1.5%	1.6%	0.3%	0.4%	-	-

Ref 5



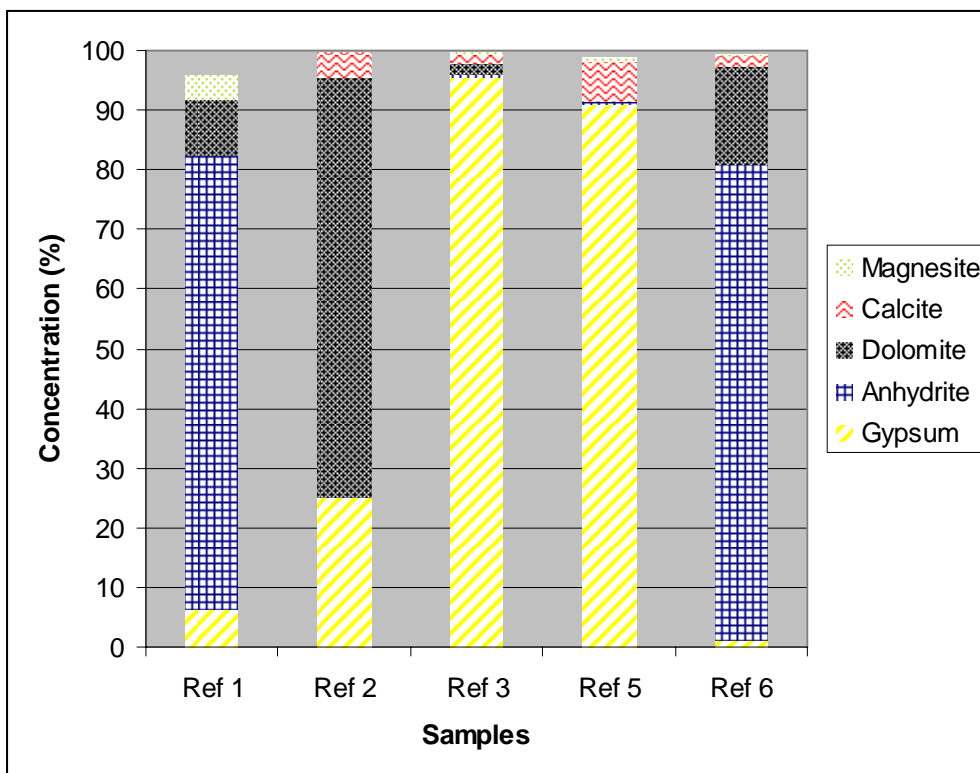
Γύψος	Ανυδρίτης	Ασβεστίτης	Δολομίτης	Μαγνησίτης	Αλβίτης	Ιλλίτης	Χαλαζίας
90.8%	0.6%	6.7%	0.1%	0.58%	0.2%	1.1%	-

Ref 6



Γύψος	Ανυδρίτης	Ασβεστίτης	Δολομίτης	Μαγνησίτης	Αλβίτης	Ιλλίτης	Χαλαζίας
1.3%	79.6%	1.8%	16.5%	0.3%	-	0.5%	-

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των αναλύσεων οι σχηματισμοί της σκληρής γύψου και των ανοιχτόχρωμων θεικών με σκούρες λαμίνες παρουσιάζουν αυξημένες συγκεντρώσεις σε διυδρίτη- $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (90.8% και 95.6% αντίστοιχα), οι σχηματισμοί των ανοιχτόχρωμων θεικών με τεμάχια δολομιτών και φυσικά του ανυδρίτη παρουσιάζουν αυξημένες συγκεντρώσεις σε ανυδρίτη- CaSO_4 (76.4% και 79.6% αντίστοιχα) και ο σχηματισμός του δολομίτη παρουσιάζει συγκέντρωση 70.5% σε δολομίτη- $\text{MgCa}(\text{CO}_3)_2$. Τα προηγούμενα παρουσιάζονται στον ακόλουθο συγκεντρωτικό πίνακα.



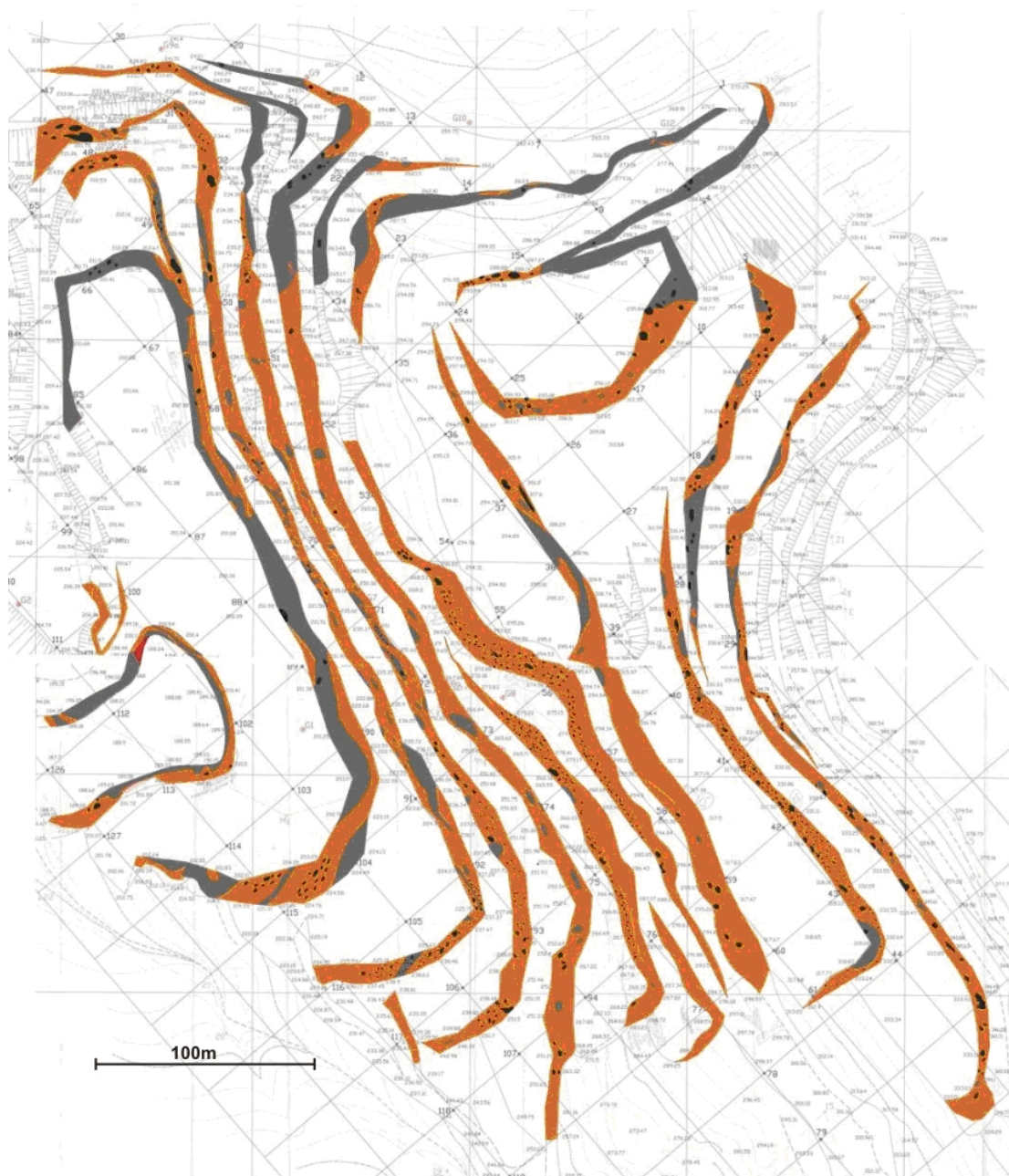
Διάγραμμα 4-1: Συγκεντρώσεις των επιμέρους ορυκτών για κάθε χαρακτηριστική λιθολογία του λατομείου στο Αλτσι. Για την χωρική κατανομή κάθε λιθολογίας βλέπε τον αρχικό γεωλογικό χάρτη της εικόνας 4-2.

Γίνεται φανερό, από τον παραπάνω πίνακα, ότι οι 5 χαρακτηριστικοί σχηματισμοί μπορούν να ομαδοποιηθούν με βάση την ορυκτολογική τους ανάλυση στους 3 κυρίαρχους σχηματισμούς του λατομείου, οι οποίοι είναι Γύψος, Ανυδρίτης, Δολομίτης. Και οι τρεις αυτοί σχηματισμοί θεωρείται ότι ανήκουν στο θειικό κοίτασμα, ακόμη και ο δολομίτης. Με τον καινούριο χαρακτηρισμό των σχηματισμών του λατομείου ο αρχικός γεωλογικός χάρτης μετατρέπεται σε αυτόν της εικόνας 4-3, του οποίου υπόμνημα παρατίθεται παρακάτω.



Από τον γεωλογικό χάρτη κλίμακας 1:500 (Εικόνα 4-3) μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι ο σχηματισμός της γύψου έχει την μεγαλύτερη επιφανειακή

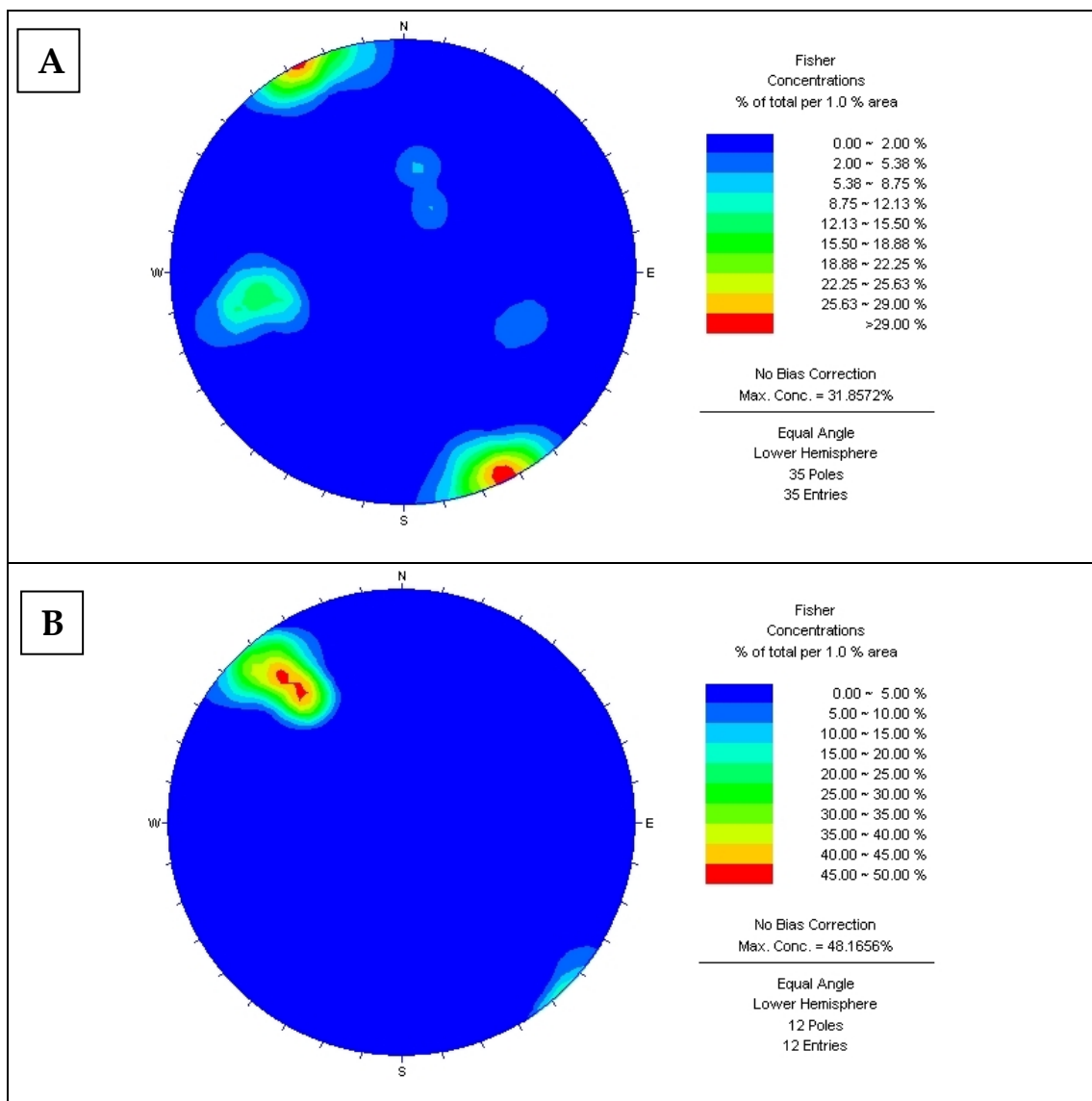
εμφάνιση. Ο σχηματισμός του ανυδρίτη περιορίζεται επιφανειακά στο βόρειο και δυτικό τμήμα του λατομείου. Οι δολομίτες είναι διάσπαρτοι σε όλο το λατομικό χώρο. Τα μεγαλύτερα δολομιτικά τεμάχια παρατηρούνται στο βορειοδυτικό άκρο και στις ανώτερες βαθμίδες του δυτικού τμήματος του λατομείου. Επίσης οι ασβεστοφυλλίτες έχουν περιορισμένη επιφανειακή εμφάνιση στην κατώτερη βαθμίδα. Ένα σημαντικό συμπέρασμα που προκύπτει είναι ότι καθώς η εκμετάλλευση προχωρά σε βάθος εξακολουθεί να εμφανίζεται γύψος στο νοτιοανατολικό κυρίως τμήμα. Η διαπίστωση αυτή έρχεται σε αντίθεση με την αντίληψη πάνω στην οποία στηρίζεται ο προγραμματισμός εκμετάλλευσης του κοιτάσματος. Δηλαδή, αντιτίθεται στην αντίληψη που χαρακτηρίζει το κοιτάσμα ως έναν ανυδριτικό πυρήνα που μόνο το επιφανειακό του τμήμα έχει γυψοποιηθεί. Σύμφωνα με την επικρατούσα αντίληψη θα έπρεπε όσο πιο χαμηλά προχωρά η εκμετάλλευση τόσο περισσότερο να εμφανίζεται ο ανυδρίτης έναντι της γύψου, πράγμα που δεν διαπιστώνεται από την χαρτογράφηση.



Εικόνα 4-3: Γενικευμένος γεωλογικός χάρτης, βασισμένος στις γεωχημικές αναλύσεις δειγμάτων από τους χαρακτηριστικούς σχηματισμούς (Ref) που εμφανίζονται στο λατομείο.

4.2 Σύλλογή τεκτονικών στοιχείων

Για την κατανόηση του τεκτονικού καθεστώτος του λατομείου πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις προσανατολισμού ασυνεχειών τόσο στους θεικούς σχηματισμούς όσο και στους σχιστολίθους-ασβεστοφυλλίτες. Από αυτές προέκυψαν δύο στερεοδιαγράμματα από τα οποία το ένα αφορά στους θεικούς σχηματισμούς και το δεύτερο στους σχιστολίθους. Από το διάγραμμα 4-2 διαπιστώνουμε ότι δύο είναι τα κύρια συστήματα σχισμού. Το πρώτο σύστημα έχει παράταξη ABA-ΔΝΔ, έντονης διαφοροποίησης της διεύθυνσης κλίσης, με γωνίες κλίσης 85° - 90° και παρατηρείται τόσο στα θειικά όσο και στους σχιστολίθους-ασβεστοφυλλίτες. Μόνο στους θεικούς σχηματισμούς εμφανίζεται και ένα δεύτερο σύστημα σχισμού/διακλάσεων που έχει παράταξη BBA-NNA με κλίση περίπου 65° προς ΔΝΔ.

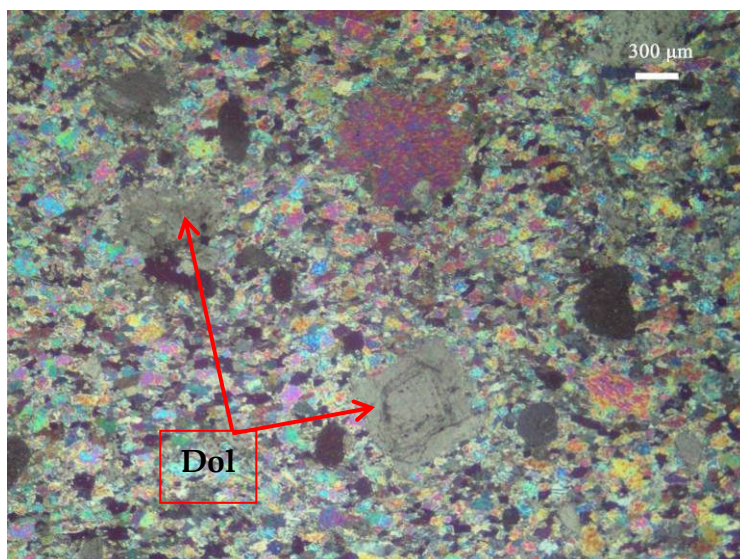


Διάγραμμα 4-2: Στερεοδιαγράμματα διακλάσεων στους θεικούς σχηματισμούς (Α) και στους σχιστολίθους-ασβεστοφυλλίτες (Β).

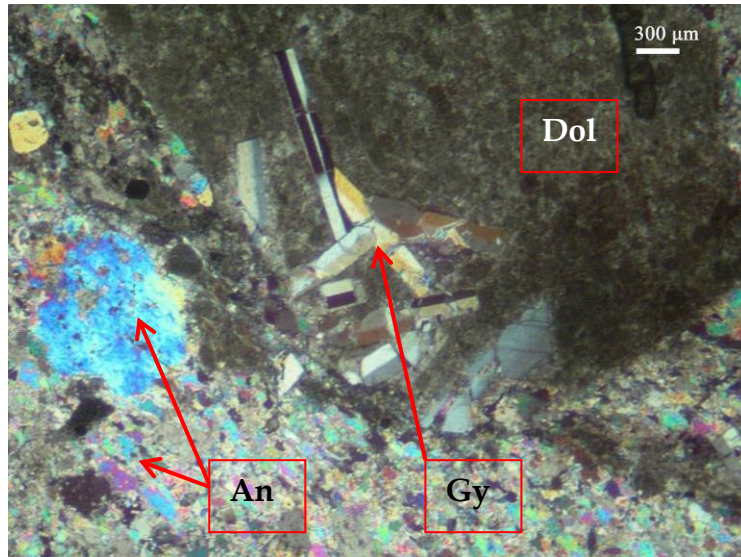
4.3 Κατασκευή πετρογραφικών λεπτών τομών

Η κατασκευή των λεπτών τομών πραγματοποιήθηκε στα εργαστήρια του τμήματος Μηχανικών Ορυκτών Πόρων. Κατασκευάστηκαν συνολικά 14 λεπτές τομές από τα δείγματα «Ref». Κατόπιν, αναγνωρίστηκαν με βάση τις μικροσκοπικές ιδιότητες τα ορυκτά που συμμετέχουν σε κάθε πέτρωμα, καθώς και ο ιστός τους. Η μικροσκοπική εξέταση των πετρωμάτων μπορεί να παρέχει χρήσιμες πληροφορίες για την προέλευση και την διαγενετική ιστορία του κοιτάσματος γύψου στο Αλτσι. Ο μικροσκοπικός χαρακτηρισμός κάθε αντιπροσωπευτικού δείγματος «Ref» αναφέρεται παρακάτω, με τις σχετικές μικροφωτογραφίες σε κάθετα Nicols.

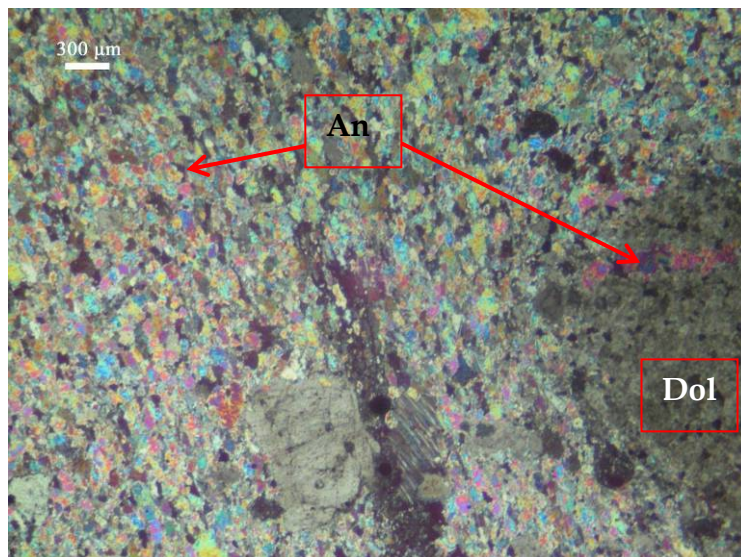
REF 1: Η κύρια μάζα αποτελείται από αλλοτριόμορφους μικροκρύσταλλους ανυδρίτη που σχηματίζουν μωσαϊκό ιστό. Στην ανυδριτική μάζα παρεμβάλλονται δολομιτικοί αλλοτριόμορφοι ως ιδιόμορφοι πορφυροβλάστες, ακανόνιστου ως ρομβικού σχήματος. Μερικοί από τους δολομίτες αυτούς παρουσιάζουν ζώνωση (Εικόνα 4-4), ενώ άλλοι παρουσιάζουν να περιέχουν στην μάζα τους ανυδρίτη (Εικόνα 4-6) και γύψο (Εικόνα 4-5). Στην εικόνα 4-6 οι κρύσταλλοι ανυδρίτη φαίνεται να έχουν πληρώσει προϋπάρχουσα ρωγμή στον δολομίτη. Στην εικόνα 4-6 ο δολομίτης περιέχει λωρίδες γύψου. Το φαινόμενο αυτό μπορεί να εξηγηθεί ως αποτέλεσμα της αντικατάστασης δολομίτη από γύψο.



Εικόνα 4-4: Ανυδριτική λεπτοκρυσταλλική μάζα που περιέχει κρυστάλλους δολομίτη

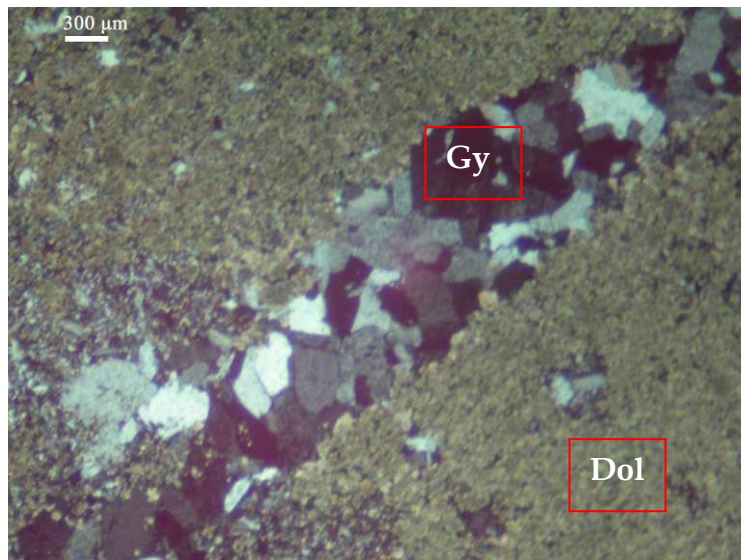


Εικόνα 4-5: Μικροκρυσταλλική ανυδριτική μάζα που περιβάλλει ιδιόμορφο κόκκο αφαντικού δολομίτη. Παρατηρείται αντικατάσταση του δολομίτη από λωρίδες γύψου.

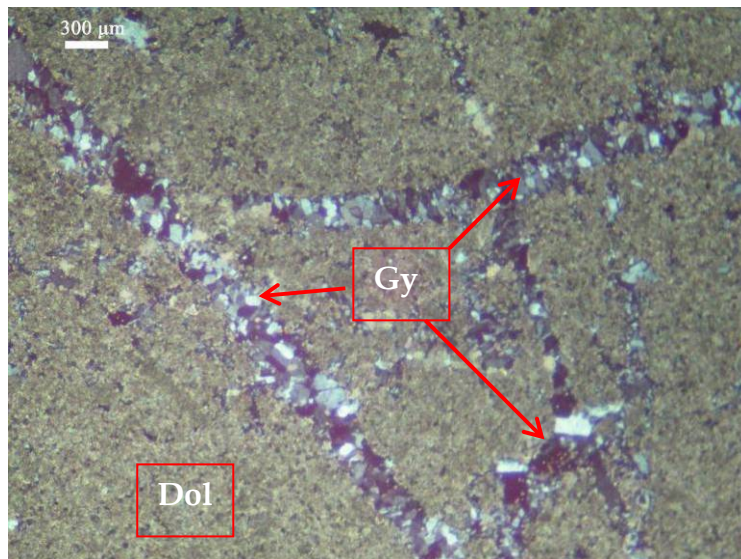


Εικόνα 4-6: Μικροκρυσταλλική ανυδριτική μάζα που περιβάλλει υπιδιόμορφους ως ιδιόμορφους κόκκους δολομίτη, καθώς επίσης πληρώνει και τις διαρρήξεις του δολομίτη.

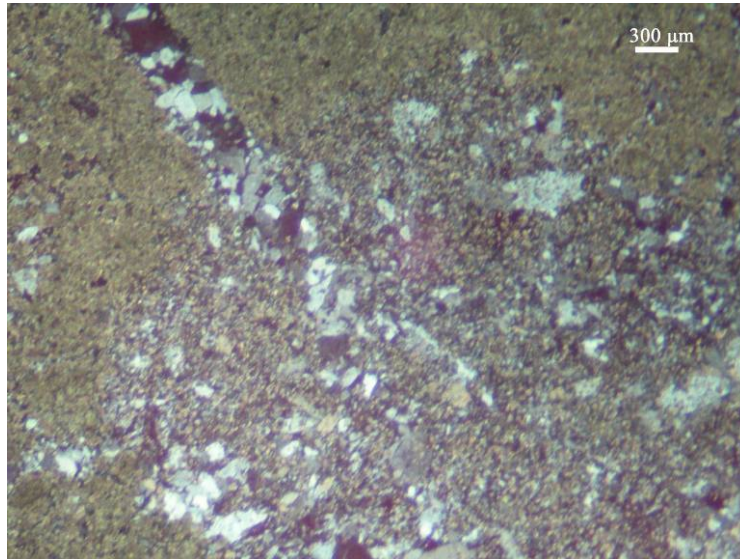
REF 2: Μικροκρυσταλλική αφαντική δολομιτική μάζα που διακόπτεται από ρωγμές που είναι πληρωμένες με κρυστάλλους γύψου. Οι συγκεκριμένοι κρύσταλλοι γύψου είναι αλλοτριόμορφοι και σχηματίζουν μωσαϊκό ιστό μέσα στις ρωγμές (Εικόνα 4-7), ενώ σε συγκεκριμένα τμήματα οι κόκκοι γύψου παρουσιάζουν πρισματική μορφή και είναι προσανατολισμένοι κάθετα στην διεύθυνση της φλέβας (Εικόνα 4-8). Στην υπόλοιπη δολομιτική μάζα παρατηρούνται τοπικές συγκεντρώσεις μικροκρυσταλλικής (αλαβάστρινης) γύψου (Εικόνα 4-9).



Εικόνα 4-7: Αλλοτριόμορφοι κρύσταλλοι γύψου που πληρώνουν την διάρρηξη του δολομίτη σχηματίζοντας μωσαϊκό ιστό.

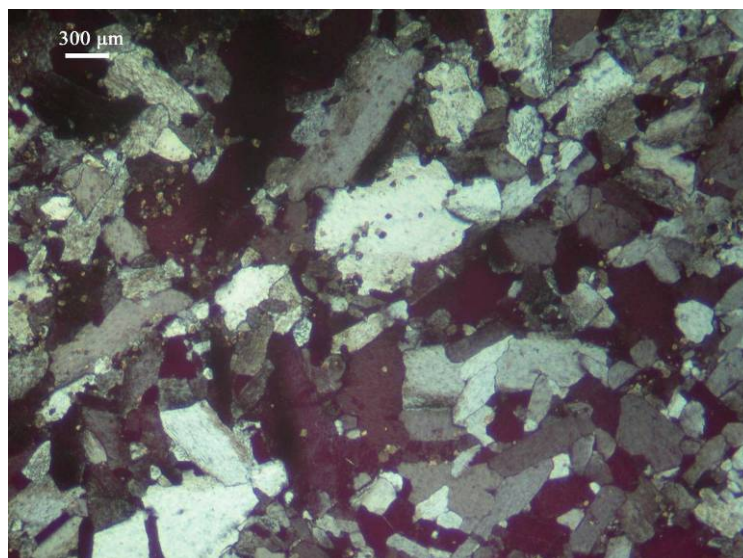


Εικόνα 4-8: Δολομικρίτης με διαρρήξεις που είναι πληρωμένες με γύψο.



Εικόνα 4-9: Κρύσταλλοι γύψου έχουν πληρώσει την διάρρηξη του δολομικρίτη.

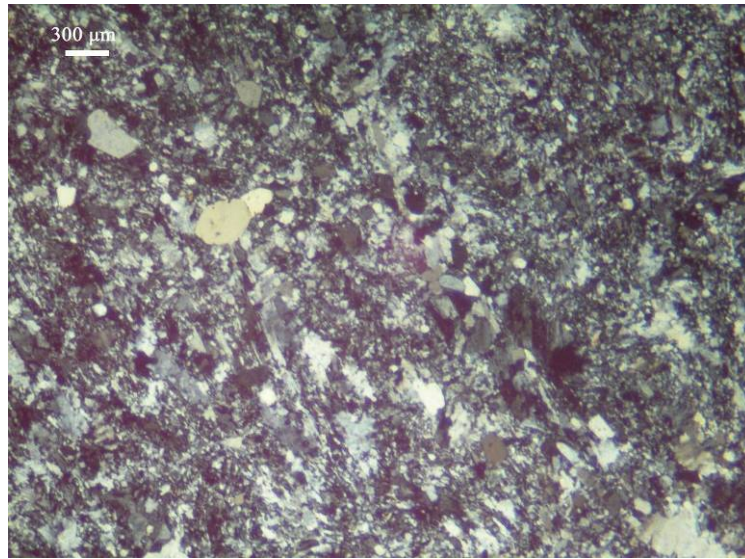
REF 3: Κοκκώδεις ως πρισματικοί, αλλοτριόμορφοι ως υπιδιόμορφοι κρύσταλλοι γύψου, που σχηματίζουν μωσαϊκό, γρανοβλαστικό ιστό (Εικόνα 4-10). Ο γρανοβλαστικός ιστός θεωρείται ως το αποτέλεσμα την ενυδάτωσης του ανυδρίτη (Makhlouf & Haddad, 2006).



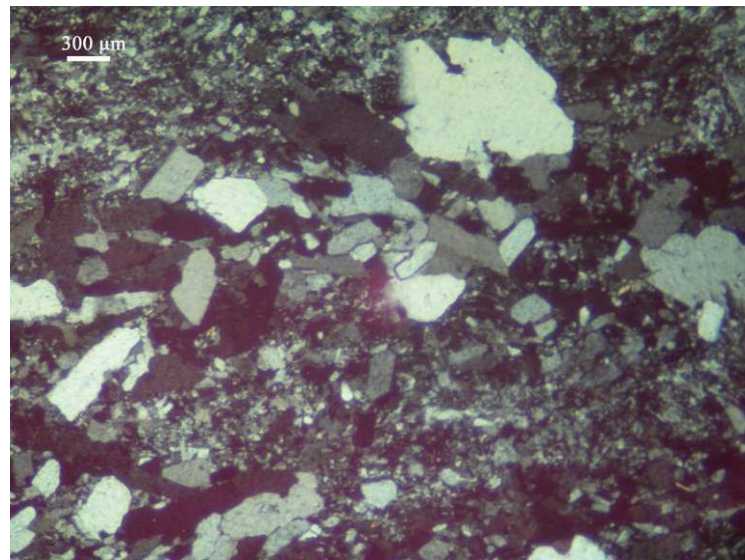
Εικόνα 4-10: Κρύσταλλοι γύψου που σχηματίζουν γρανοβλαστικό ιστό.

REF 5: Αλαβάστρινη γύψος. Ο ιστός είναι κυρίως μικροκοκκώδης και σε μερικά τμήματα είναι νεφελώδης. Ο νεφελώδης ιστός ερμηνεύεται ως το αρχικό προϊόν της ενυδάτωσης του ανυδρίτη (G. Tesla & S. Lugli, 2000, εικόνα 4-11). Επίσης,

παρατηρούνται στην τομή δύο ζώνες όπου οι κρύσταλλοι της γύψου παρουσιάζονται ως πορφυροβλάστες, αλλοτριόμορφοι ως υπιδιόμορφοι. (Εικόνα 4-12).



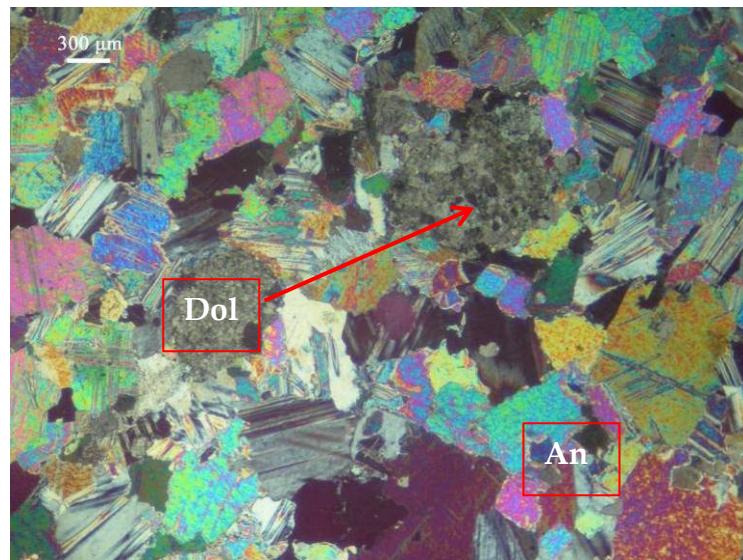
Εικόνα 4-11: Γύψος που σχηματίζει νεφελώδη ιστό.



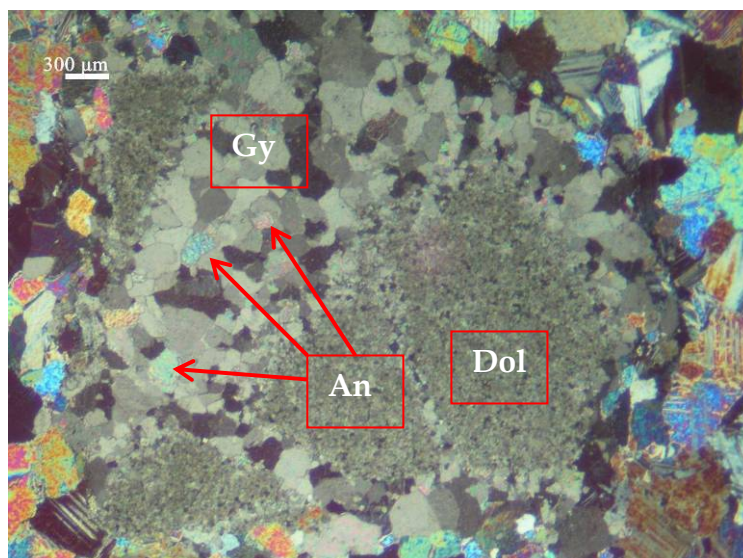
Εικόνα 4-12: Ιδιόμορφοι ως υπιδιόμορφοι πορφυροβλάστες γύψου που περιβάλλονται από μικροκρυσταλλική γύψο.

REF 6: Κοκκώδεις αλλοτριόμορφοι κρύσταλλοι ανυδρίτη που μαζί με λιγότερους αλλοτριόμορφους κόκκους δολομίτη σχηματίζουν μωσαϊκό ιστό (Εικόνα 4-13). Ελάχιστοι αλλοτριόμορφοι κρύσταλλοι γύψου παρατηρούνται σε συνδυασμό με τους κόκκους δολομίτη (Εικόνα 4-14). Συχνά οι κρύσταλλοι του δολομίτη φαίνονται να αντικαθίστανται από κρυστάλλους ανυδρίτη και γύψου (Εικόνα 4-15), ενώ ρωγμές του δολομίτη πληρώνονται από κόκκους ανυδρίτη και γύψου (Εικόνες 4-

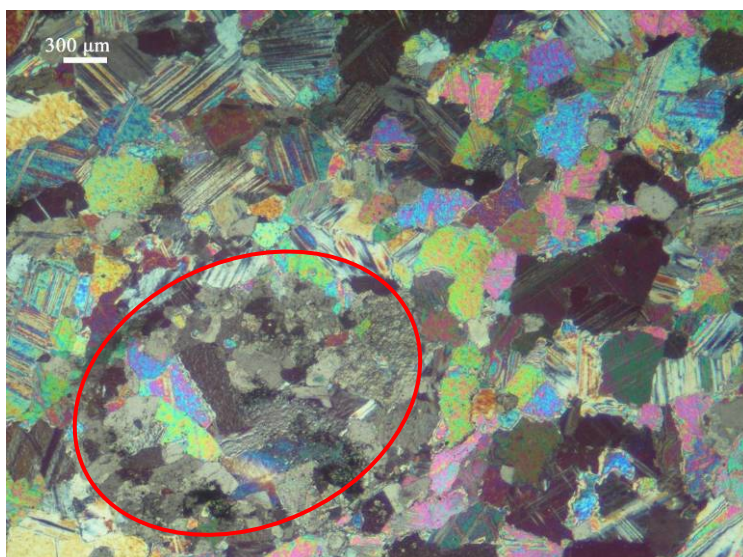
14, 4-16). Οι παρατηρήσεις αυτές οδηγούν σε δύο συμπεράσματα. 1) Είτε το αρχικό ορυκτό που αντικατέστησε τον δολομίτη είναι ο ανυδρίτης που αργότερα ενυδατώθηκε σε γύψο λόγω επαφή με ρευστά, 2) είτε το αρχικό ορυκτό αντικατάσταση του δολομίτη είναι η γύψος που αργότερα αφυδατώθηκε σε ανυδρίτη λόγω ενταφιασμού.



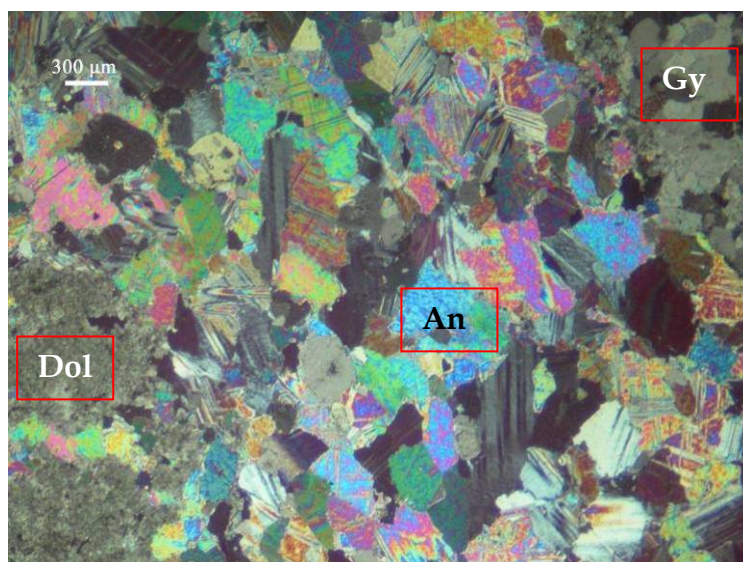
Εικόνα 4-13: Υπιδιόμορφοι ως υδιόμορφοι κρύσταλλοι ανυδρίτη που περικλείουν κόκκους δολομίτη.



Εικόνα 4-14: Μεγάλος κόκκος υπιδιόμορφου δολομίτη που οι διαρρήξεις του πληρώθηκαν από κόκκους γύψου και ανυδρίτη.



Εικόνα 4-15: Ανυδριτικοί κρύσταλλοι που περικλείουν και αντικαθιστούν δολομίτη. Ο δολομίτης περικλείεται από την έλλειψη.



Εικόνα 4-16: Ανυδριτικοί κόκκοι που πληρώνουν την διάρρηξη του κόκκου δολομίτη στο αριστερό τμήμα της μικροφωτογραφίας.

4.4 Επιφανειακή σημειακή δειγματοληψία

Με Wagon Drill ελήφθησαν από βάθος ενός μέτρου 100 δείγματα (τρίμματα) από θέσεις κανάβου ανά 40m για ορυκτολογικές αναλύσεις με XRF της εταιρίας TITAN. Το μήκος κάθε δείγματος είναι 1m. Οι θέσεις των δειγμάτων παρουσιάζονται στην εικόνα 4-17, και τα αποτελέσματα των αναλύσεων στον πίνακα 4-1. Σημειώνονται με κίτρινο τα δείγματα με ανυδριτή >30%

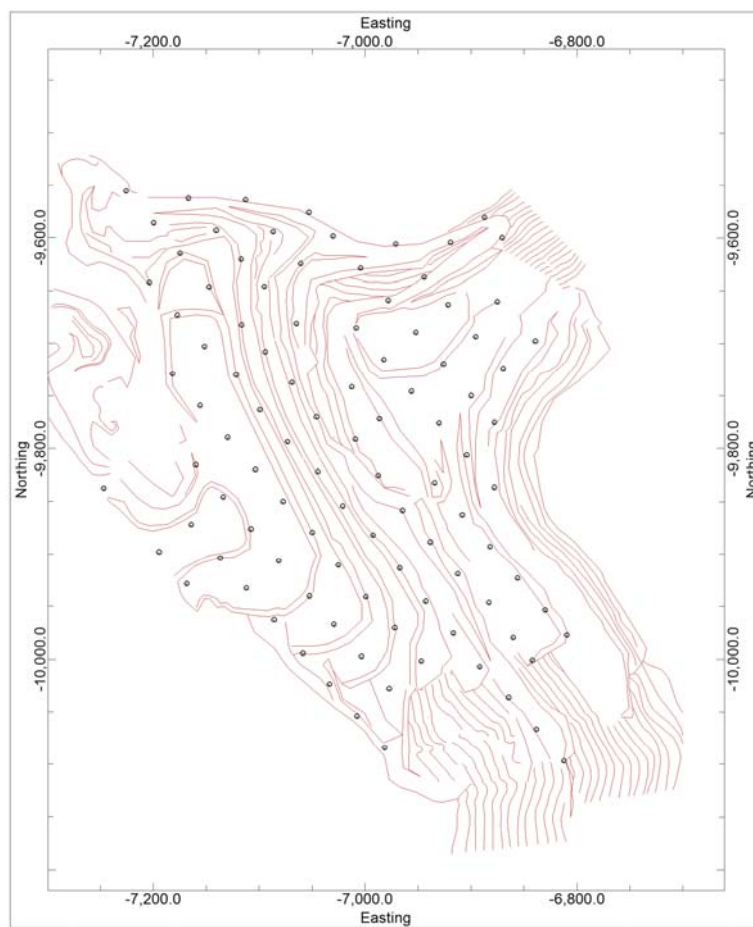
Πίνακας 4-1: Αποτελέσματα ορυκτολογικών αναλύσεων δειγμάτων επιφανειακής δειγματοληψίας. Με κίτρινο σημειώνονται τα δείγματα που παρουσιάζουν περιεκτικότητα σε ανυδρίτη >30%.

Sample	MgCa(CO ₃) ₂	CaSO ₄ ·2H ₂ O	CaSO ₄	CaCO ₃	Sum	Residuals
D1	5.6	91.81	0.31	1.57	99.29	0.71
D2	7.28	92	0	0	99.28	0.72
D3	8	92	0	0	100	0
D5	5.53	92.43	0.6	0.9	99.46	0.54
D6	3.21	97	0	0	100.21	-0.21
D7	2	98.24	0	0	100.24	-0.24
D8	3	96	0	1	100	0
D9	3.97	95.7	0	0	99.67	0.33
D10	3.04	88.05	3.33	5.14	99.56	0.44
D11	2.99	96	0	1	99.99	0.01
D12	5.91	93	0	0.4	99.31	0.69
D13	3.55	96.48	0.13	0	100.16	-0.16
D14	3.04	94	0	2	99.04	0.96
D15	4	94.5	1	0	99.5	0.5
D16	3.1	97	0	0	100.1	-0.1
D17	2.7	94.3	0.6	2	99.6	0.4
D18	2.95	96	0	1	99.95	0.05
D19	3.1	30	64	2.9	100	0
D20	5.02	92.14	1.31	1.08	99.55	0.45
D21	7	93	0	0	100	0
D22	10	90	0	0	100	0
D24	3.2	95.33	0.1	1.1	99.73	0.27
D25	1	95.4	0.7	3	100.1	-0.1
D26	9.8	88.29	0.94	0.8	99.83	0.17
D27	3.04	96	0	0	99.04	0.96
D28	11.97	87.57	0	0.41	99.95	0.05
D29	3.6	25	70	1.2	99.8	0.2
D30	8.8	83	0	6.3	98.1	1.9
D31	6.86	93	0	0	99.86	0.14

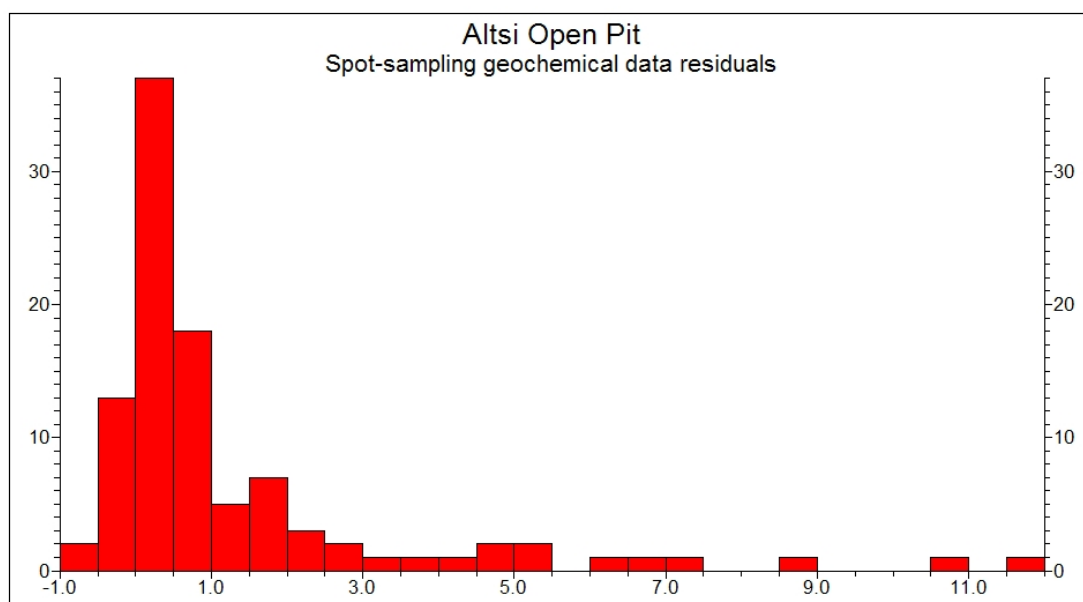
D32	3.12	84.86	11	1	99.98	0.02
D33	7.16	92.5	0	0	99.66	0.34
D34	2.83	97	0	0	99.83	0.17
D36	22.33	67	1.81	9	100.14	-0.14
D37	5.7	91.86	1.02	1	99.58	0.42
D39	14.7	83.52	0	0	98.22	1.78
D40	5	94.95	0	0	99.95	0.05
D41	8.11	90.57	0.59	0.38	99.65	0.35
D42	5.09	94.5	0	0	99.59	0.41
D43	14.28	76.71	2	6.62	99.61	0.39
D44	2.5	97.29	0.17	0	99.96	0.04
D46	53.5	10	0	24.9	88.4	11.6
D47	16.43	58	0	17	91.43	8.57
D48	70	19	2	4	95	5
D49	33.14	48	12	0	93.14	6.86
D50	10.7	70.86	17.5	0.16	99.22	0.78
D51	4.22	93.43	0.24	1.4	99.29	0.71
D52	24.4	17.1	59.5	0	101	-1
D53	2	98	0	0	100	0
D54	4.67	93.76	0.82	0.38	99.63	0.37
D55	3.3	94.9	0.5	0.8	99.5	0.5
D56	4.47	95	0	0	99.47	0.53
D57	10.39	85.5	0	1	96.89	3.11
D58	6.7	87.86	0	3.8	98.36	1.64
D59	3.71	96.3	0	0	100.01	-0.01
D60	3.61	93.33	0.69	2.07	99.7	0.3
D61	7.21	89.05	0.11	2.52	98.89	1.11
D65	13.3	82	0	0	95.3	4.7
D66	20.7	19	58	0	97.7	2.3
D67	14.31	36.4	48	0	98.71	1.29
D68	7.68	88.29	0.87	2.35	99.19	0.81
D69	6	58	36	0	100	0

D70	30	19.8	50	0	99.8	0.2
D71	7.9	90	1	1	99.9	0.1
D72	4.4	95	0	0.2	99.6	0.4
D73	4.35	95.7	0	0	100.05	-0.05
D74	4.7	93	1	1	99.7	0.3
D75	3.63	96	0	0	99.63	0.37
D76	3.3	96	0	1	100.3	-0.3
D77	3.2	94	1	1.1	99.3	0.7
D78	10	68.8	0	20.7	99.5	0.5
D79	2.74	97	0.36	0	100.1	-0.1
D80	7.2	93.1	0	0	100.3	-0.3
D85	11.31	87.3	0	0	98.61	1.39
D86	9.29	89	0	0	98.29	1.71
D87	12.25	84	1.11	0	97.36	2.64
D88	5.89	89	2.5	2	99.39	0.61
D89	9	20	67	3	99	1
D90	7.49	93.1	0	0	100.59	-0.59
D91	3.58	95.38	1	0	99.96	0.04
D92	6.2	63	31	0	100.2	-0.2
D93	9	89	0.05	0	98.05	1.95
D94	4.91	94.5	0	0	99.41	0.59
D100	9.93	87	1	0	97.93	2.07
D101	12.6	4.3	82.3	0	99.2	0.8
D102	21	73	1	0	95	5
D103	18.86	75	0	0	93.86	6.14
D104	7	91	0	0	98	2
D105	9.34	87	0	0	96.34	3.66
D106	4.17	95	0.5	0	99.67	0.33
D107	3.35	97	0	0	100.35	-0.35
D112	10.47	87.76	0.17	0	98.4	1.6
D113	17	79	0	0	96	4
D114	6.7	90	0	2	98.7	1.3

D115	5.27	92.52	0	1.39	99.18	0.82
D116	6.56	92.76	0.42	0	99.74	0.26
D117	10.81	62.3	1.04	23	97.15	2.85
D118	12.93	61	0	19	92.93	7.07
D119	35.2	28	2	24.1	89.3	10.7
D126	26	62.5	3	4	95.5	4.5
D127	7.26	84.71	0.73	5.72	98.42	1.58



Εικόνα 4-17: Χάρτης με τον κάρναβο δειγματοληψίας (διαστάσεων 40x40m) των 100 σημειακών δειγμάτων επί της σημερινής τοπογραφίας του λατομικού χώρου.



Διάγραμμα 4-3: Ιστόγραμμα των αποκλίσεων των γεωχημικών αναλύσεων των 100 σημειακών δειγμάτων από την απόλυτη τιμή 100%.

4.5 Δημιουργία ψηφιακής βάσης δεδομένων

Η υλοποίηση της βάσης, με δεδομένα που προέκυψαν από παλαιότερες γεωτρήσεις και από την σημειακή δειγματοληψία, έγινε με το λογισμικό MS-Excel και η καταχώρηση των στοιχείων έγιναν μέσω του λογισμικού σχεδιασμού και μοντελοποίησης RockWorks-2006, επειδή με αυτόν τον τρόπο εξασφαλίζεται η σωστή δόμηση της βάσης δεδομένων και παράλληλα παρέχεται ανεξαρτησία από το λογισμικό της ίδιας της βάσης, αφού το συγκεκριμένο πακέτο μπορεί να χειριστεί όλα τα διαδεδομένα εμπορικά πακέτα σχετικού λογισμικού. Η δομή της βάσης δεδομένων παρουσιάζεται στους πίνακες 4-2, 4-7 και 4-8. Αποτελείται από τα αποτελέσματα των γεωχημικών αναλύσεων τόσο των 100 σημειακών δειγμάτων (D-series) όσο και των πυρήνων γεωτρήσεων που είχαν πραγματοποιηθεί παλαιότερα (G-series). Οι αναλύσεις της σειράς G βρίσκονται στην τεχνική έκθεση της εταιρίας TITAN με τίτλο «Αξιολόγηση αποτελεσμάτων γεωτρητικής έρευνας στο γυψωρυχείο Αλτοί Σητείας Κρήτης». Πρόκειται για 14 γεωτρήσεις συνολικού βάθους 843m (Εικόνα 4-19). Σημειώνεται ότι για την βάση δεδομένων ως γεωτρήσεις θεωρούνται και τα σημειακά δείγματα, θεωρώντας ότι έχουν κατακόρυφο μήκος 1m.

Πίνακας 4-2: Στοιχεία θέσης γεώτρησης (κάρτελα Location) σε περιβάλλον Excel (A) και RockWorks (B)

A)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
	Bore	File	Range	Township	Section	Legal	Longitude	Latitude	Easting	Northing	Elevation	TD	Symbol	Color	Comments	
1	D1	D1				0	0	0	-6887.1	-9580.63	268.89	2	14	0		
2	D10	D10				0	0	0	-6895.6	-9693.45	311.55	2	14	0		
3	D100	D100				0	0	0	-7159.8	-9815.45	194.52	2	14	0		
4	D101	D101				0	0	0	-7133.8	-9845.88	187.26	2	14	0		
5	D102	D102				0	0	0	-7107.7	-9876.18	198.77	2	14	0		
6	D103	D103				0	0	0	-7081.6	-9906.49	199.14	2	14	0		
7	D104	D104				0	0	0	-7052.5	-9940.31	222.8	2	14	0		
8	D105	D105				0	0	0	-7029.4	-9967.11	223.12	2	14	0		
9	D106	D106				0	0	0	-7003.3	-9997.41	236.59	2	14	0		
10	D107	D107				0	0	0	-6977.2	-10027.7	249.28	2	14	0		
11	D11	D11				0	0	0	-6869.4	-9723.76	327.88	2	14	0		
12	D112	D112				0	0	0	-7164.1	-9871.98	186.24	2	14	0		
13	D113	D113				0	0	0	-7136.7	-9903.78	199.79	2	14	0		
14	D114	D114				0	0	0	-7111.9	-9932.6	199.29	2	14	0		
15	D115	D115				0	0	0	-7085.8	-9962.9	220.93	2	14	0		
16	D116	D116				0	0	0	-7058.6	-9994.51	231.23	2	14	0		
17	D117	D117				0	0	0	-7033.6	-10023.5	233.85	2	14	0		
18	D118	D118				0	0	0	-7007.5	-10053.8	238.92	2	14	0		
19	D119	D119				0	0	0	-6981.4	-10084.1	245.62	2	14	0		
20	D12	D12				0	0	0	-7053	-9575.76	250.94	2	14	0		
21	D124	D124				0	0	0	-7246.6	-9837.47	252.5	2	14	0		
22	D126	D126				0	0	0	-7194.4	-9898.08	187.38	2	14	0		
23	D127	D127				0	0	0	-7168.3	-9928.39	199.62	2	14	0		
24	D13	D13				0	0	0	-7030.3	-9598.33	255.46	2	14	0		
25	D14	D14				0	0	0	-7004.2	-9628.64	261.43	2	14	0		
26	D15	D15				0	0	0	-6978.1	-9658.84	286.42	2	14	0		
27	D16	D16				0	0	0	-6952	-9689.25	293.28	2	14	0		
28	D17	D17				0	0	0	-6925.9	-9719.56	310.96	2	14	0		
29	D18	D18				0	0	0	-6899.8	-9749.87	311.86	2	14	0		
30	D19	D19				0	0	0	-6877.9	-9775.28	328.66	2	14	0		
31	D2	D2				0	0	0	-6870.5	-9800	276.91	2	14	0		
32	D20	D20				0	0	0	-7112.8	-9563.82	243.81	2	14	0		
33	D21	D21				0	0	0	-7086.7	-9594.12	239.56	2	14	0		
34	D22	D22				0	0	0	-7060.6	-9624.43	254.32	2	14	0		
35	D24	D24				0	0	0	-7008.4	-9685.05	292.64	2	14	0		
36	D25	D25				0	0	0	-6982.3	-9715.35	293.47	2	14	0		
37	D26	D26				0	0	0	-6956.2	-9745.66	308.44	2	14	0		
38	D27	D27				0	0	0	-6930.1	-9775.97	309.47	2	14	0		

B)

The screenshot shows the 'Borehole Data Manager' window with 115 boreholes listed. The 'Location' tab is selected, showing fields for Name, Easting, Northing, Elevation, and Total Depth. The data for borehole D1 is displayed: Name: D1, Easting: -6,887.14, Northing: -9,580.63, Elevation: 268.89, Total Depth: 2.0.

Πίνακας 4-3: Γεωχημικά δεδομένα γεώτρησης (κάρτελα I-Data) σε περιβάλλον Excel (A) και RockWorks (B)

A)

	B	C	D	E	
	Type	Depth-1	Depth-2	Value	
1	Gypsum	1	2	91.81	
3	D1	Anhydrite	1	2	0.31
4	D1	Calcite	1	2	1.57
5	D1	Dolomite	1	2	5.6
6	D10	Gypsum	1	2	88.05
7	D10	Anhydrite	1	2	3.33
8	D10	Calcite	1	2	5.14
9	D10	Dolomite	1	2	3.04
10	D100	Gypsum	1	2	87
11	D100	Anhydrite	1	2	1
12	D100	Calcite	1	2	0
13	D100	Dolomite	1	2	9.93
14	D101	Gypsum	1	2	4.3
15	D101	Anhydrite	1	2	82.3
16	D101	Calcite	1	2	0
17	D101	Dolomite	1	2	12.6
18	D102	Gypsum	1	2	73
19	D102	Anhydrite	1	2	1
20	D102	Calcite	1	2	0
21	D102	Dolomite	1	2	21
22	D103	Gypsum	1	2	75
23	D103	Anhydrite	1	2	0
24	D103	Calcite	1	2	0
25	D103	Dolomite	1	2	18.86
26	D104	Gypsum	1	2	91
27	D104	Anhydrite	1	2	0
28	D104	Calcite	1	2	0

Location / Orientation / Lithology / Stratigraphy

B)

Borehole Data Manager (115 boreholes)

Name	Location	Orientation	Lithology	Stratigraphy	Intervals (I-Data)	Points (P-Data)	Fr
	Depth to Top	Depth to Base	Anhydrite	Gypsum	Calcite	Dolomite	
D79	0.0	4.0	0.0	89.5	0.0	3.55	
D80	4.0	7.0	0.0	89.7	0.0	3.24	
D85	7.0	10.0	0.0	94.3	0.0	2.75	
D86	10.0	13.0	0.0	92.2	0.0	2.85	
D87	13.0	16.0	0.0	94.0	0.0	2.52	
D88	16.0	19.0	0.0	84.7	2.4	2.99	
D9	19.0	22.0	0.0	95.6	0.0	3.08	
D90	22.0	25.0	0.0	94.3	0.0	2.82	
D91	25.0	28.0	53.5	30.1	1.45	5.5	
D92	28.0	31.0	81.1	1.2	0.0	5.54	
D93	31.0	34.0	78.8	1.3	2.48	7.63	
D94	34.0	37.0	53.4	28.4	2.47	5.63	
G1	37.0	39.0	56.0	30.1	0.0	4.81	
G10	39.0	42.0	17.9	68.8	0.0	3.22	
G12	42.0	46.0	70.7	2.4	12.39	11.63	
G2	46.0	51.0	82.9	1.1	0.0	5.27	
G3	51.0	56.0	82.1	1.2	1.57	5.17	
G4	56.0	61.0	83.8	0.2	0.0	4.89	
G5	61.0	66.0	83.7	0.2	0.0	4.41	
G6	66.0	71.0	80.1	0.2	2.52	7.15	
G7	71.0	76.0	78.4	1.4	2.48	7.47	
G8a	76.0	81.0	74.4	7.0	1.52	6.52	
G8b	81.0	86.0	64.4	6.3	3.58	10.74	
G9							
G9a							

Cancel0%

Πέραν των προαναφερθέντων γεωχημικών αναλύσεων, στην βάση δεδομένων καταχωρήθηκαν στοιχεία που αφορούσαν την τοπογραφία τόσο του λατομείου όσο και της ευρύτερης περιοχής. Τα στοιχεία αυτά είναι οι γεωγραφικές συντεταγμένες X, Y, Z. Οι μεν συντεταγμένες του λατομικού χώρου προέκυψαν από την ψηφιοποίηση του τοπογραφικού χάρτη του λατομείου, της παρούσας και τελικής μορφής του, στο λογισμικό AutoCad που πραγματοποίησε ο προπτυχιακός φοιτητής του τμήματος Μηχανικών Ορυκτών Πόρων κ. Βάχλας Γεώργιος, στα πλαίσια εκπόνησης της διπλωματικής του εργασίας. Η ψηφιοποιημένη τοπογραφία εισήχθηκε στο λογισμικό RockWorks με μορφή αρχείου .dxf. Οι δε συντεταγμένες της ευρύτερης περιοχής προήλθαν από το τμήμα τοπογραφίας του Υπουργείου Γεωργικής Ανάπτυξης & Τροφίμων (πρώην Υπουργείο Γεωργίας). Συγκεκριμένα, προμηθευτήκαμε δύο ορθοφωτοχάρτες, με αριθμούς 668_891 και 672_891, σε ψηφιακή μορφή (tiff files), με τα αντίστοιχα ψηφιακά αρχεία (ASCII files) των γεωγραφικών τους συντεταγμένων X, Y, σε EGSA '87, και Z. Η κλίμακα των ορθοφωτοχαρτών είναι 1:5000 και ο κάνναβος δειγματοληψίας των υψομετρικών δεδομένων είναι 20x20m. Η δομή της βάσης δεδομένων με τις γεωγραφικές συντεταγμένες, και των δύο περιπτώσεων, παρουσιάζεται στον πίνακα 4-4. Από την βάση δεδομένων αυτή, προκύπτουν οι συντεταγμένες που οριοθετούν σε τρεις διαστάσεις το ανάγλυφο της ευρύτερης περιοχής αλλά και του λατομικού χώρου. Οι συντεταγμένες αυτές παρουσιάζονται αντίστοιχα στους πίνακες 4-5 και 4-6.

Πίνακας 4-4: Γεωγραφικές συντεταγμένες X, Y, Z του λατομικού χώρου. Πανομοιότυπη μορφή έχουν και οι γεωγραφικές συντεταγμένες της ευρύτερης περιοχής του λατομείου.

	X	Y	Z	
1	-7321.953	-9464.714	231.06	
2	-7321.953	-9464.714	231.06	
3	-7343.612	-9467.5	230.5	
4	-7343.612	-9467.5	230.5	
5	-7279.218	-9487.887	230.3	
6	-7282.617	-9488.519	230.3	
7	-7282.617	-9488.519	230.3	
8	-7284.484	-9488.824	231	
9	-7284.484	-9488.911	230.3	
10	-7284.484	-9488.911	230.3	
11	-7358.242	-9489.292	233.2	
12	-7358.242	-9489.292	233.2	
13	-7289.277	-9490.004	230.3	
14	-7289.277	-9490.004	230.3	
15	-7290.19	-9490.226	230.3	
16	-7290.19	-9490.226	230.3	
17	-7292.232	-9490.879	230.3	
18	-7292.232	-9490.879	230.3	
19	-7295.212	-9492.164	230.3	
20	-7295.212	-9492.164	230.3	
21	-7297.948	-9493.654	230.3	
22	-7297.948	-9493.654	230.3	

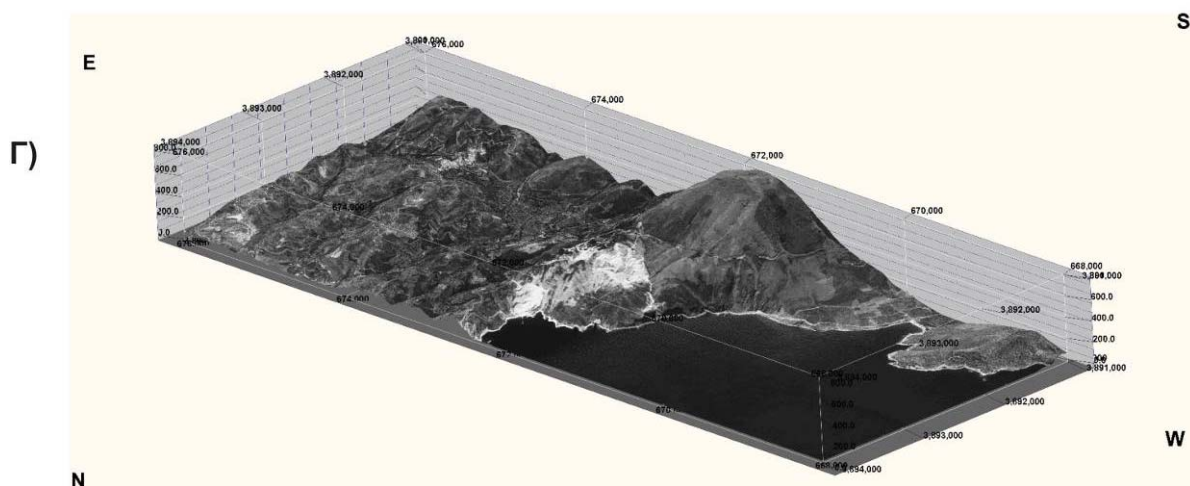
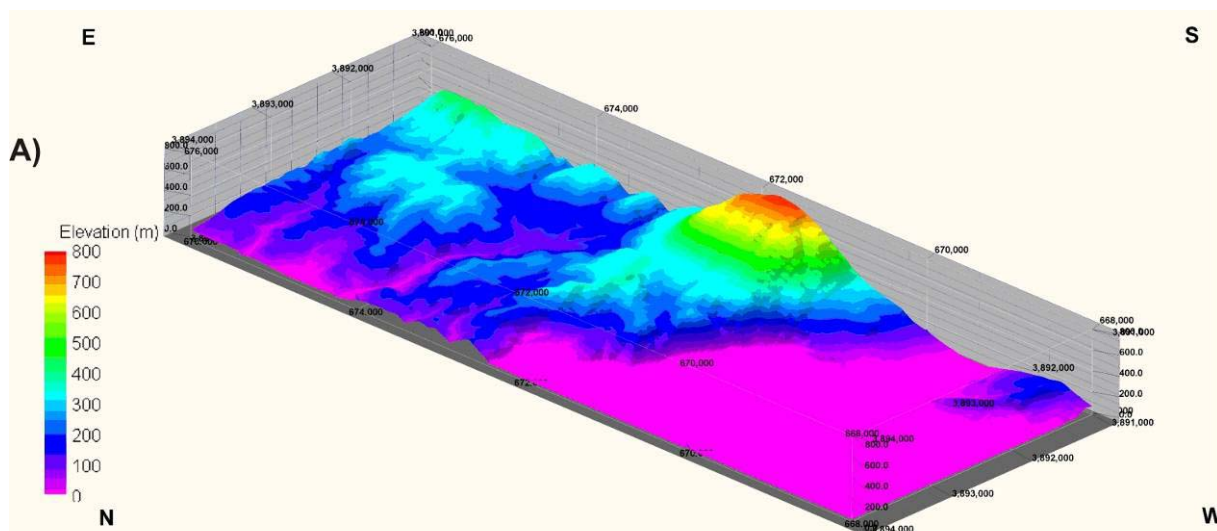
Πίνακας 4-5: Οι ελάχιστες και μέγιστες τιμές των γεωγραφικών συντεταγμένων X, Y, σε Hatt και Z, που οριοθετούν το τρισδιάστατο ψηφιακό μοντέλο επιφανείας του λατομικού χώρου.

	X (Hatt)	Y (Hatt)	Z
Min	-7280	-10200	180
Max	-6680	-9440	370

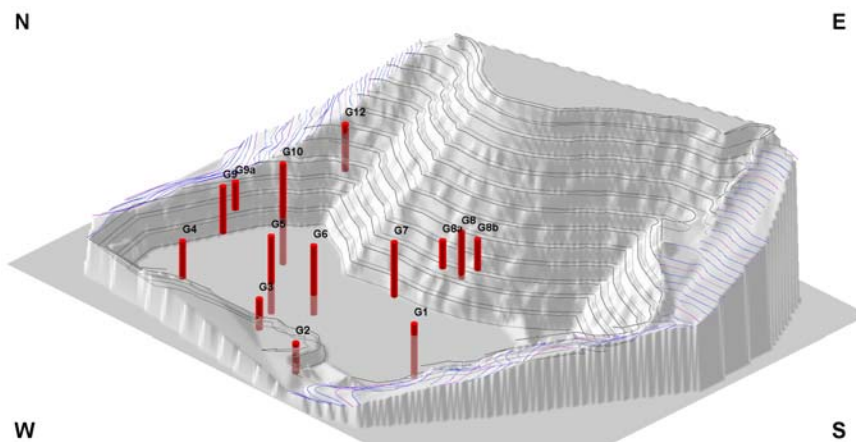
Πίνακας 4-6: Οι ελάχιστες και μέγιστες τιμές των γεωγραφικών συντεταγμένων X, Y, σε EGSA '87 και Z, που οριοθετούν το τρισδιάστατο ψηφιακό μοντέλο επιφανείας της ευρύτερης περιοχής του λατομείου.

	X (EGSA '87)	Y (EGSA '87)	Z
Min	668000	3891000	0
Max	676000	3894000	800

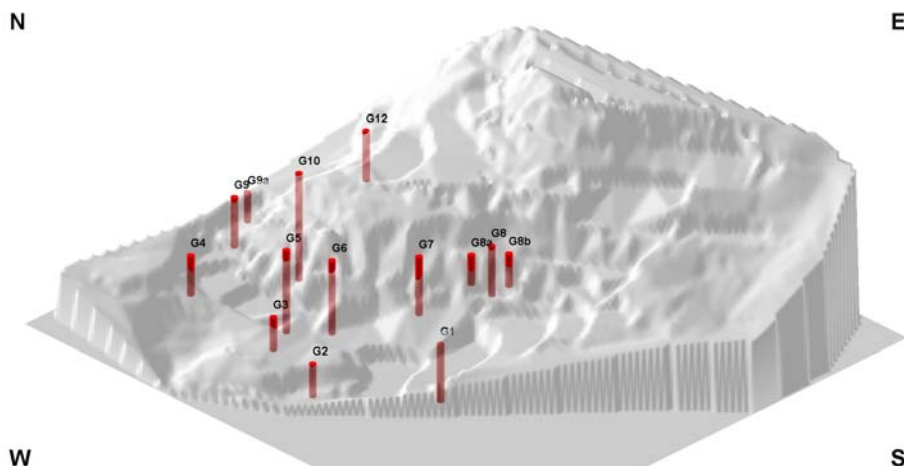
Μετά την ολοκλήρωση της καταχώρησης των στοιχείων, μπορούμε να εξαγάγουμε πληροφορίες από τη βάση αλλά και να παραστήσουμε τα δεδομένα γραφικά στις τρεις διαστάσεις. Με τα τοπογραφικά στοιχεία κατασκευάστηκαν τα ψηφιακά μοντέλα εδάφους (DTMs) της σημερινής και της τελικής μορφής του λατομείου, καθώς και της ευρύτερης περιοχής. Ακολουθούν μια σειρά σχημάτων που παρουσιάζουν γραφικά σε τρεις διαστάσεις τα τοπογραφικά δεδομένα σε συνδυασμό με τα δεδομένα γεωτρήσεων.



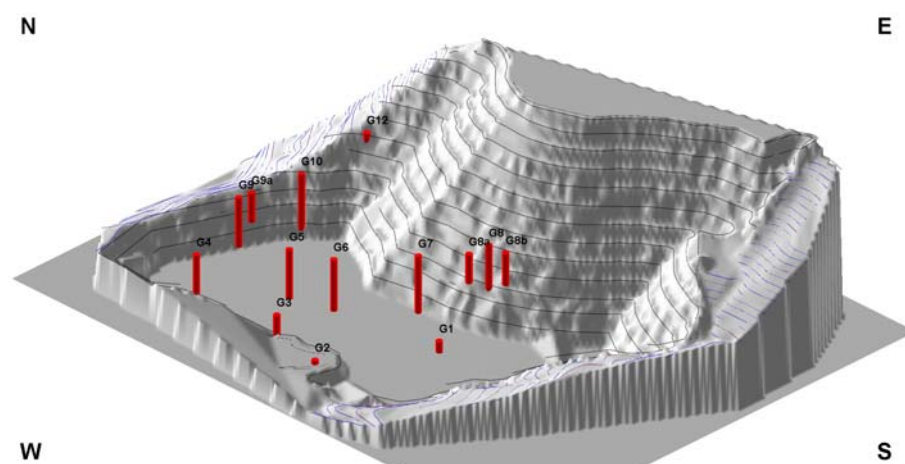
Εικόνα 4-18: Α) Τρισδιάστατο ψηφιακό μοντέλο επιφανείας της ευρύτερης περιοχής του λατομείου. Η διαβάθμιση των χρωμάτων αντιστοιχεί σε διαφορετικά υψόμετρα, όπως παρουσιάζεται στο υπόμνημα. Περιφερειακά του μοντέλου αναγράφονται οι γεωγραφικές συντεταγμένες σε EGSA '87. Β) Ο ορθοφωτοχάρτης που αντιστοιχεί στην ευρύτερη περιοχή του λατομείου και προήλθε από την συρραφή των δύο επιμέρους ορθοφωτοχαρτών. Γ) Το αποτέλεσμα της υπέρθεσης του ορθοφωτοχάρτη στο αντίστοιχο τρισδιάστατο ψηφιακό μοντέλο επιφανείας.



Εικόνα 4-19: Τρισδιάστατη παρουσίαση της ψηφιακής βάσης των 14 γεωτρήσεων που είχαν πραγματοποιηθεί παλαιότερα από την εταιρία.

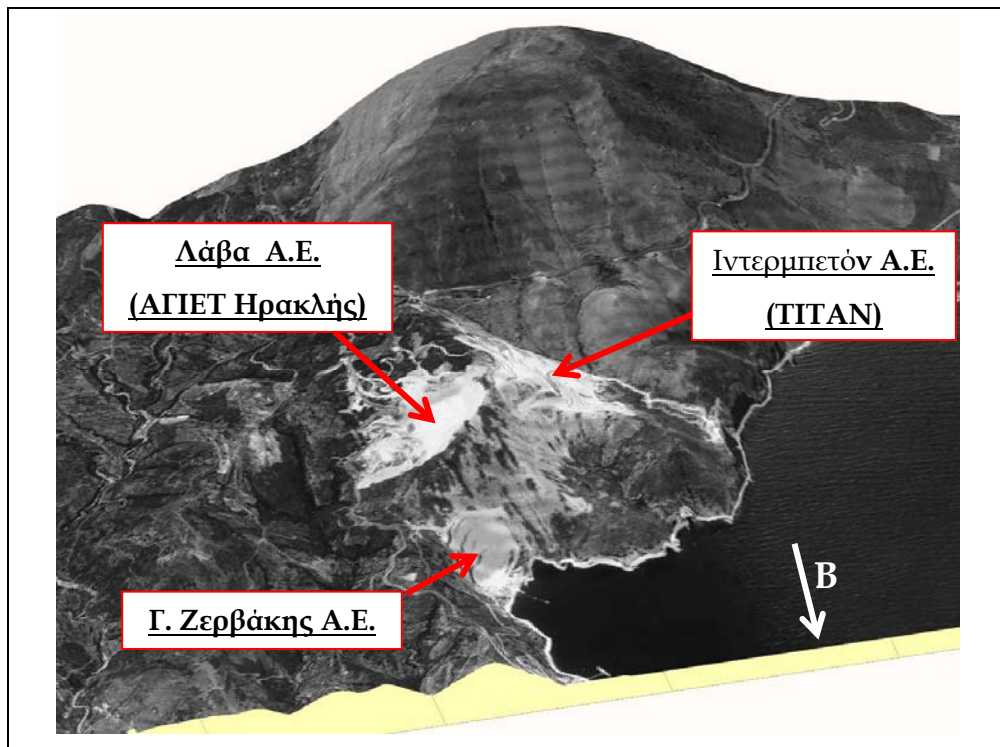


Εικόνα 4-20: Οι θέσεις των υπαρχόντων γεωτρήσεων στο λατομείο και το ψηφιακό μοντέλο της σημερινής μορφής του λατομείου (με διαφάνεια).



Εικόνα 4-21: Ψηφιακό μοντέλο της τελικής μορφής του λατομείου και οι υπάρχουσες γεωτρήσεις

Με την βοήθεια του σχήματος 4-18 Γ καθορίστηκε χωροταξικά το λατομείο του Αλτσιού, καθώς και τα υπόλοιπα δύο λατομεία της περιοχής που δραστηριοποιούνται στο ίδιο κοίτασμα (Εικόνα 4-22:). Με τον τρόπο αυτό γίνεται ευκολότερη η διαδικασία συσχετισμού των τοπογραφικών και γεωλογικών δομών μεγάλης κλίμακας με την θέση του κοιτάσματος και του λατομείου. Σημειώνεται ότι η μορφή του αναγλύφου συνήθως συνδέεται με γεωλογικές διεργασίες.



Εικόνα 4-22: Τοποθέτηση επί του τρισδιάστατου ομοιώματος αναγλύφου με ορθοφωτοχάρτη των τριών λατομείων γύψου-ανυδρίτη που δραστηριοποιούνται στο κοίτασμα της περιοχής μελέτης.

4.6 Γεωστατιστική Ανάλυση

4.6.1 Εισαγωγή

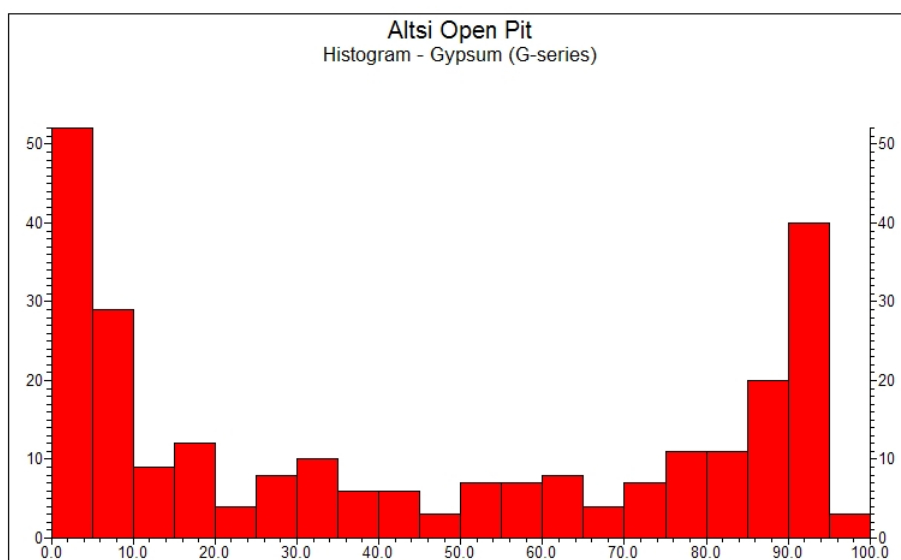
Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφεται η γεωστατιστική ανάλυση των γεωχημικών στοιχείων που εισήχθησαν στην βάση δεδομένων, όπως περιγράφηκε παραπάνω. Σκοπός είναι η κατασκευή του τρισδιάστατου μοντέλου κατανομής των παραμέτρων γύψος (σε % περιεκτικότητα) και του ανυδρίτη (σε % περιεκτικότητα). Η γεωστατιστική ανάλυση πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιώντας ως μέθοδο παρεμβολής την Σταθμισμένη Αντίστροφη Απόσταση (Inverse-Distance Weighted, IDW). Παράλληλα, παρουσιάζονται και τα αποτελέσματα της δομικής γεωστατιστικής ανάλυσης των ίδιων δειγμάτων. Τα αποτελέσματα της γεωστατιστικής ανάλυσης με kriging βρίσκονται στην τεχνική έκθεση της εταιρίας ΤΙΤΑΝ, με τίτλο «Γεωμετρικό και γεωστατιστικό μοντέλο του λατομείου γύψου-ανυδρίτη στο Αλτσι».

4.6.2 Στατιστική περιγραφή δεδομένων

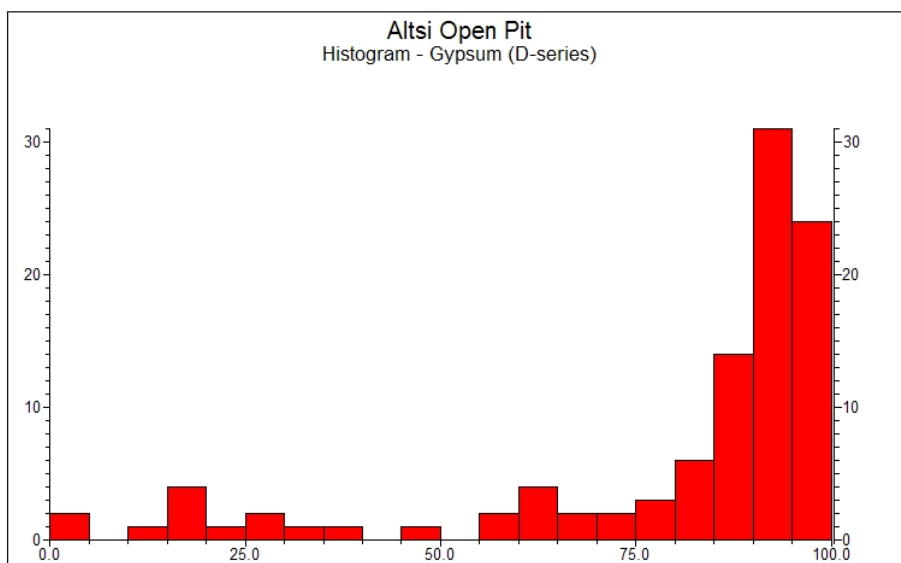
Η στατιστική ανάλυση των δειγμάτων πραγματοποιήθηκε για τις παραμέτρους Γύψος ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) και Ανυδρίτη (CaSO_4). Στους πίνακες 4-7 και 4-8 παρουσιάζονται τα στατιστικά χαρακτηριστικά των δειγμάτων, που διαχωρίζονται στα 257 δείγματα από τις γεωτρήσεις (G-series) και στα 100 δείγματα από την σημειακή δειγματοληψία (D-series). Επίσης, στην τελευταία σειρά παρουσιάζονται τα στατιστικά χαρακτηριστικά του συνόλου των δειγμάτων (Total). Τα στατιστικά χαρακτηριστικά του συνόλου των δειγμάτων και για τις δύο παραμέτρους παρουσιάζονται στον πίνακα 4-9.

Πίνακας 4-7: Στατιστικά χαρακτηριστικά της παραμέτρου γύψος/ $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

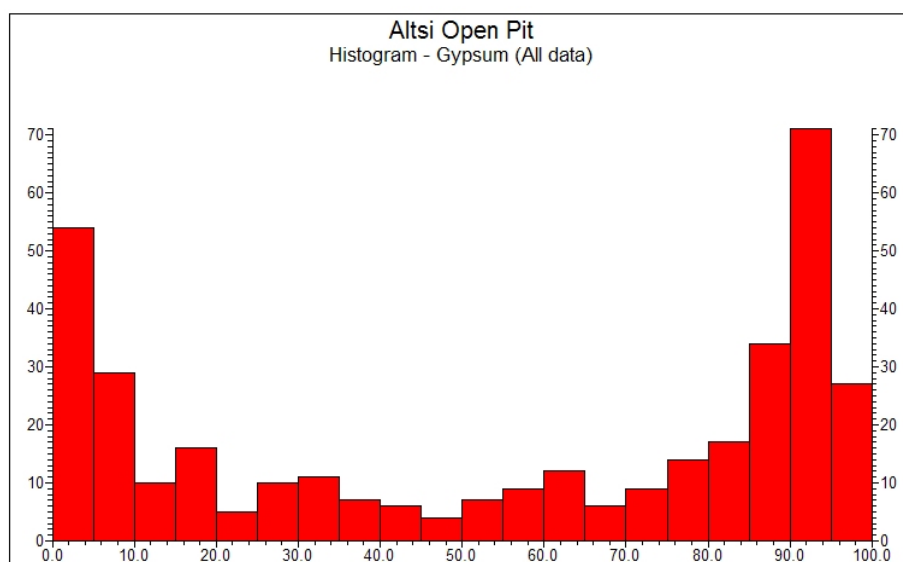
	Δείγματα	Ελάχιστη Τιμή	Μέγιστη Τιμή	Μέση Τιμή	Διασπορά
G-series	257	0	95.6	44.45	1316.25
D-series	100	2.1	98.24	79.92	616.20
Total	357	0	98.24	54.46	1372.11



Διάγραμμα 4-4: Κατανομή συχνότητας των συγκεντρώσεων γύψου (% ποσοστό) στα δείγματα των γεωτρήσεων (G-series)



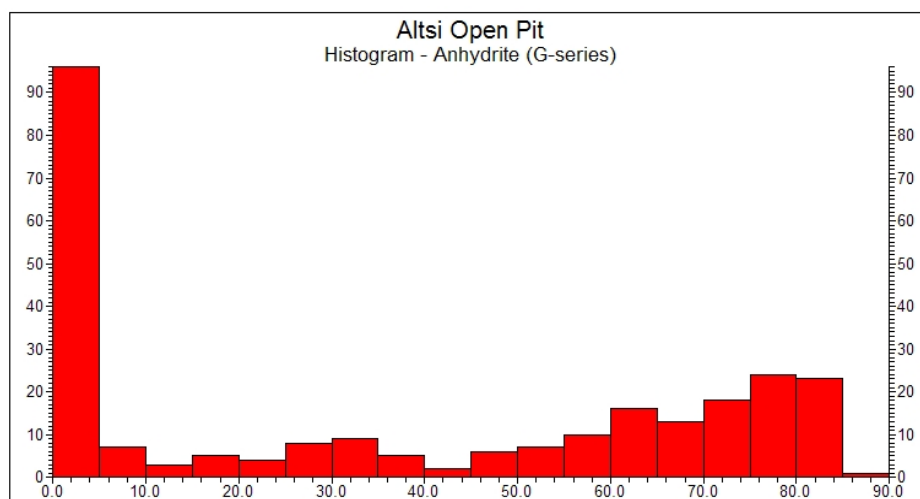
Διάγραμμα 4-5: Κατανομή συχνότητας των συγκεντρώσεων γύψου (% ποσοστό) στα σημειακά δείγματα της επιφανειακής δειγματοληψίας (D-series)



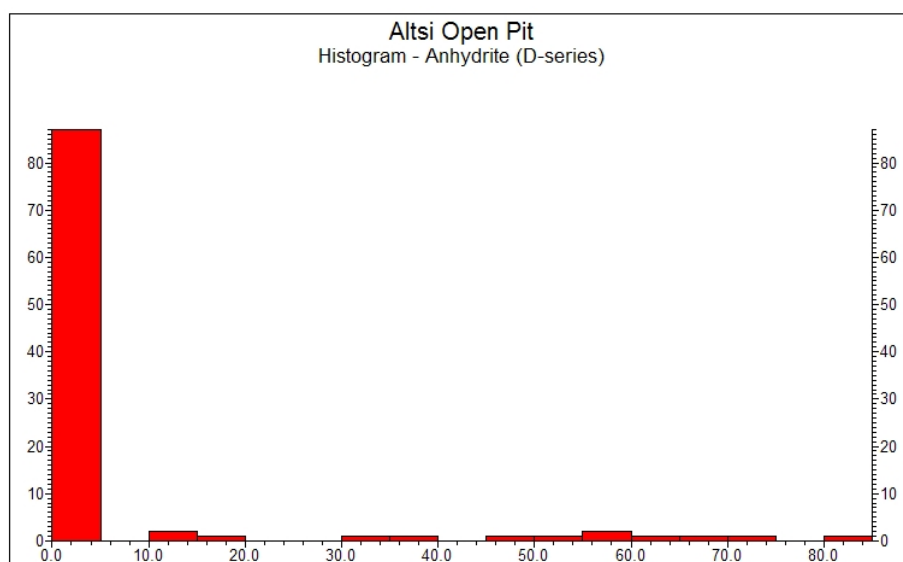
Διάγραμμα 4-6: Κατανομή συχνότητας των συγκεντρώσεων γύψου (% ποσοστό) στο σύνολο των δειγμάτων

Πίνακας 4-8: Στατιστικά χαρακτηριστικά της παραμέτρου ανυδρίτης/ CaSO_4

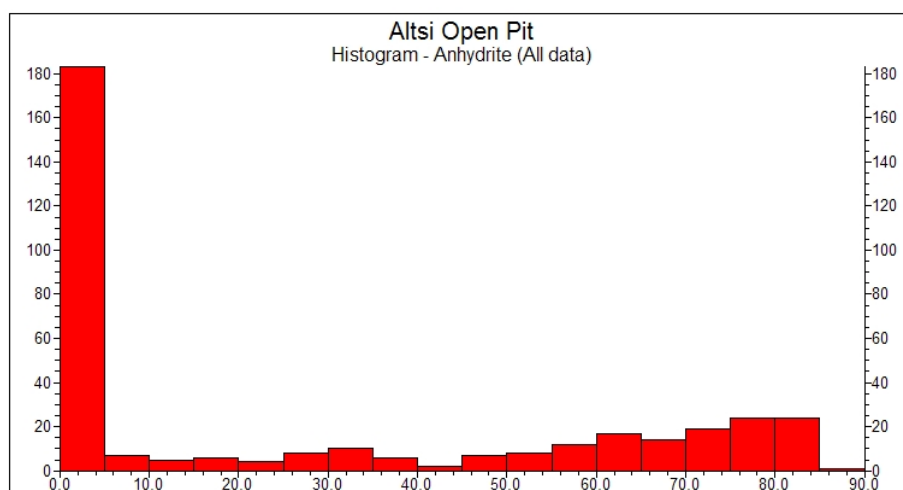
	Δείγματα	Ελάχιστη Τιμή	Μέγιστη Τιμή	Μέση Τιμή	Διασπορά
G-series	257	0	88.77	36.45	1090.94
D-series	100	0	82.3	6.38	307.48
Total	357	0	88.77	27.96	1052.06



Διάγραμμα 4-7: Κατανομή συχνότητας των συγκεντρώσεων ανυδρίτη (% ποσοστό) στα δείγματα των γεωτρήσεων (G-series)



Διάγραμμα 4-8: Κατανομή συχνότητας των συγκεντρώσεων ανυδρίτη (% ποσοστό) στα σημειακά δείγματα της επιφανειακής δειγματοληψίας (D-series)



Διάγραμμα 4-9: Κατανομή συχνότητας των συγκεντρώσεων ανυδρίτη (% ποσοστών) στο σύνολο των δειγμάτων

Πίνακας 4-9: Στατιστικά χαρακτηριστικά των παραμέτρων Γύψου και Ανυδρίτη από το σύνολο των δειγμάτων

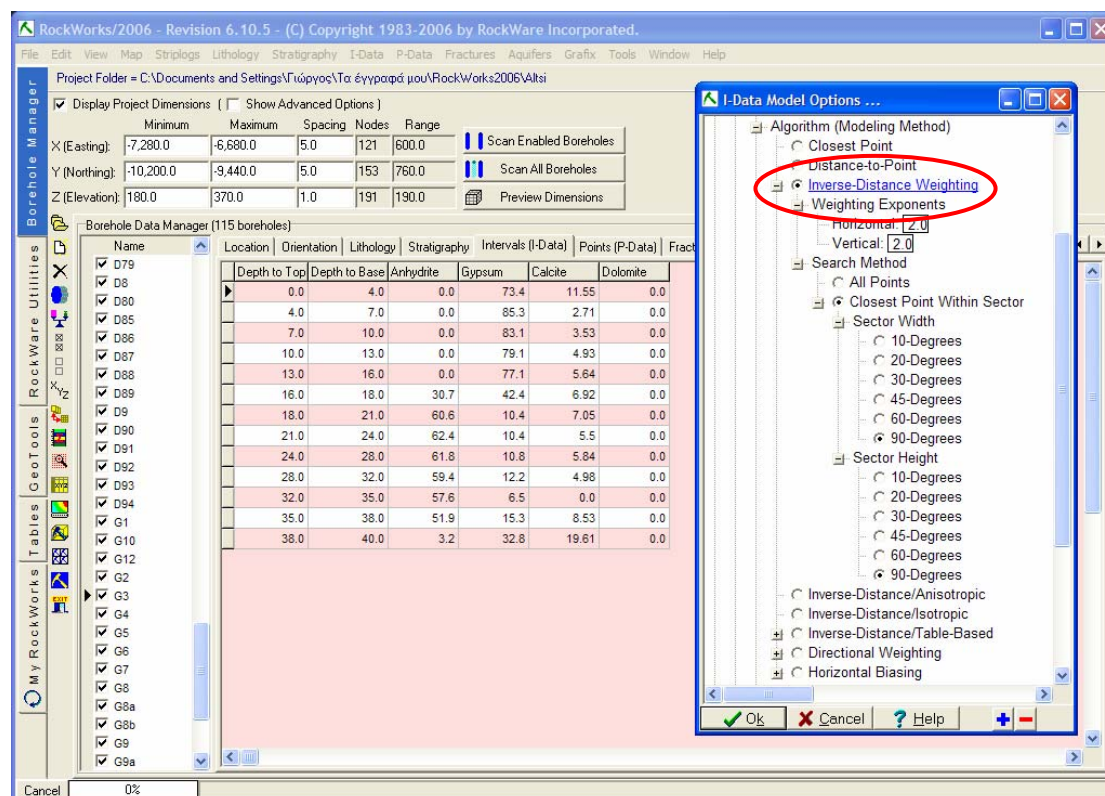
	Δείγματα	Ελάχιστη Τιμή	Μέγιστη Τιμή	Μέση Τιμή	Διασπορά
Γύψος	357	0	98.24	54.46	1372.11
Ανυδρίτης	357	0	88.77	27.96	1052.06

Από τα παραπάνω δείγματα παρατηρείται ότι τα ποσοστά γύψου των σημειακών δειγμάτων (Διάγραμμα 4-5) παρουσιάζουν αρνητική λοξή κατανομή, ενώ η περιεκτικότητα σε ανυδρίτη των 88 από τα 100 σημειακά δείγματα συγκεντρώνεται

στην κλάση 0-5% (Διάγραμμα 4-8). Όλα τα υπόλοιπα ιστογράμματα (Διαγράμματα 4-3, 4-5, 4-6, 4-8) παρουσιάζουν τις κατανομές γύψου και ανυδρίτη να έχουν ανάμεικτες μορφές.

4.6.3 Εκτίμηση ιδιοτήτων

Η εκτίμηση των ιδιοτήτων, τόσο της περιεκτικότητας γύψου όσο και του ανυδρίτη, πραγματοποιήθηκε με χρήση του αλγορίθμου της Σταθμισμένης Αντίστροφης Απόστασης (Inverse-Distance Weighted), που παρείχε το λογισμικό «Rock Works 2006», στην εντολή *I-data>model* (Εικόνα 4-23). Η μέθοδος IDW αποτελεί μια από τις πιο κοινές μεθόδους παρεμβολής και ανήκει στην ευρύτερη κατηγορία του αλγορίθμου της Αντιστρόφου Αποστάσης (ID).



Εικόνα 4-23: Επιλογή του αλγορίθμου της Σταθμισμένης Αντίστροφης Απόστασης (Inverse-Distance Weighted) για την κατασκευή του μοντέλου εκτίμησης των περιεκτικότητων σε περιβάλλον «Rock Works 2006».

Γενικά, η μέθοδος ID διαιρεί το κοίτασμα σε κυψελίδες ίδιου μεγέθους. Η μέση περιεκτικότητα μιας κυψελίδας εκτιμάται από έναν σταθμισμένο γραμμικό συνδυασμό των γειτονικών δειγμάτων (Καπαγερίδης, 2006). Οι παράγοντες

βαρύτητας δίνουν περισσότερο βάρος στα κοντινότερα δείγματα σύμφωνα με την εξίσωση:

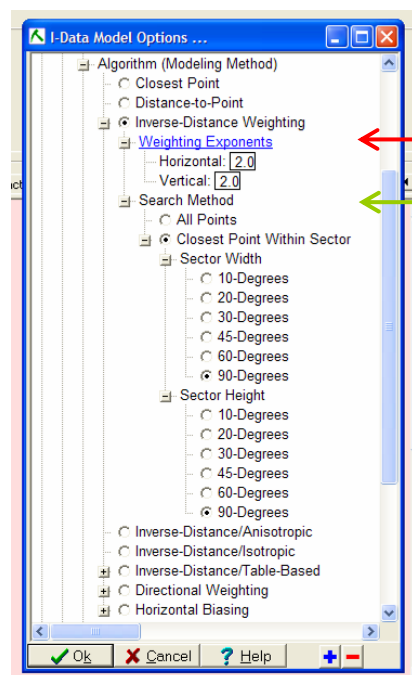
$$\lambda_i = \frac{1}{\sum_{i=1}^N \frac{1}{d_i^2}}$$

όπου d_i είναι η απόσταση του δείγματος i από το κέντρο της κυψελίδας που υπολογίζεται. Για την εκτίμηση αυτή χρησιμοποιούνται τα δείγματα που βρίσκονται εντός της ζώνης επιρροής. Η ζώνη επιρροής καθορίζεται από την επιλεγμένη δύναμη όπου υψώνεται η απόσταση d . Δηλαδή, στην παραπάνω σχέση ο εκθέτης μπορεί να αλλάξει και θέτωντάς τον για παράδειγμα 3 ή παραπάνω, να μειώσουμε το βάρος που δίνεται στα απομακρυνόμενα δείγματα. Δεν υπάρχουν συγκεκριμένα κριτήρια επιλογής του εκθέτη. Παρόλα αυτά, η επιλογή του κατάλληλου εκθέτη λαμβανομένου υπόψη των διαστάσεων των αξόνων του ελλειψοειδούς που προήλθε από την δομική γεωστατιστική ανάλυση (κατασκευή βαριογραμμμάτων), θα είχε ως αποτέλεσμα η εκτίμηση της περιεκτικότητας της κυψελίδας να καθορίζεται από την χωρική συσχέτιση των περιεκτικοτήτων των δειγμάτων. Όμως, η μέθοδος IDW του «Rock Works 2006» δεν παρέχει την δυνατότητα να ενσωματωθεί στους υπολογισμούς η παράμετρος της ανισοτροπίας του κοιτάσματος.

Οι δυνατότητες που παρέχει το λογισμικό αφορούν στον καθορισμό του εκθέτη στον οποίο υψώνεται η απόσταση d και στον καθορισμό του αριθμού των γειτονικών δειγμάτων που θα χρησιμοποιηθούν στον υπολογισμό της μέσης περιεκτικότητας κάθε κυψελίδας. Συγκεκριμένα, δίνεται η δυνατότητα να οριστεί ένας εκθέτης για την οριζόντια διεύθυνση και ένας για την κατακόρυφη, με αποτέλεσμα να μπορούμε να πραγματοποιήσουμε διαφορετική στάθμιση των δεδομένων στις δύο ξεχωριστές διευθύνσεις. Με τον τρόπο αυτό, περιορίζεται η επιρροή των δειγμάτων προς την μία διεύθυνση και ενισχύεται προς την άλλη. Η επιλογή αυτή στο περιβάλλον του λογισμικού παρουσιάζεται στο πεδίο «Weighting Exponent» της εντολής *I-data>model* (Εικόνα 4-24). Επιπλέον, ο αριθμός των δειγμάτων που θα χρησιμοποιηθούν στην εκτίμηση περιεκτικότητας κάθε κυψελίδας μπορεί να είναι είτε όλα τα δείγματα (Εικόνα 4-24, *All points*), είτε το σύνολο των εγγύτερων στην κυψελίδα δειγμάτων που βρίσκονται στους επιμέρους χωρικούς

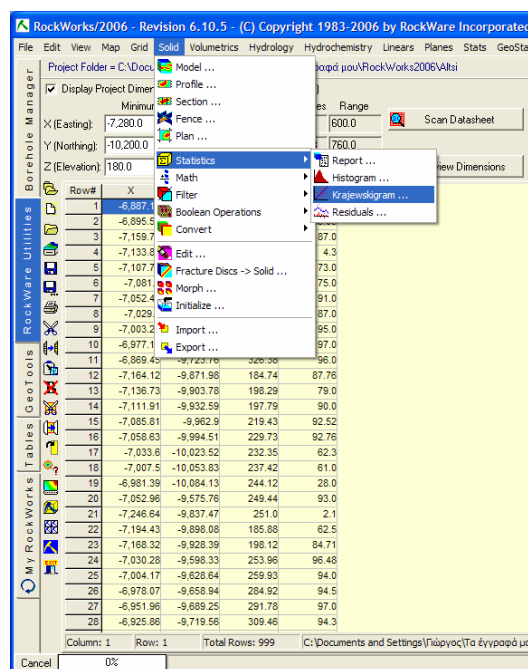
τομείς. Με τον όρο «χωρικός τομέας» εννοείται η κάθε περιοχή στις οποίες χωρίζεται ο χώρος γύρω από την κυψελίδα (Εικόνα 4-24, *Closest point within sector*). Στην δεύτερη περίπτωση, πρέπει να καθοριστεί επιπλέον το πλήθος των χωρικών τομέων, χωρίζοντας τον χώρο βασιζόμενοι σε μοίρες, τόσο στην οριζόντια διεύθυνση (*sector width*) όσο και στην κατακόρυφη (*sector height*) (Εικόνα 4-24). Για παράδειγμα, θέτωντας ότι στην οριζόντια διεύθυνση ο χώρος θα χωρίζεται άνα 90° με κέντρο την προς εκτίμηση κυψελίδα, τότε θα προκύψουν τέσσερις χωρικοί τομείς για την οριζόντια διεύθυνση. Παρόμοια καθορίζονται και για την κατακόρυφη διεύθυνση.

Το πλεονέκτημα της IDW είναι ότι παράγει ένα ομαλό, συνεχές πλέγμα. Το εύρος των παρεμβαλλόμενων τιμών είναι μικρότερο από το εύρος τιμών των αρχικών δεδομένων. Δηλαδή, η υψηλότερη τιμή παρεμβολής θα είναι μικρότερη από την μέγιστη τιμή των αρχικών δεδομένων και η χαμηλότερη τιμή παρεμβολής θα είναι μεγαλύτερη από την ελάχιστη τιμή των αρχικών δεδομένων. Μειονέκτημα της μεθόδου αποτελεί η εμφάνιση του φαινομένου "bulls-eye" σε μερικές ομάδες δεδομένων.



Εικόνα 4-24: Παράμετροι της μεθόδου παρεμβολής Σταθμισμένης Αντίστροφης Απόστασης (IDW). Παράθυρο σε περιβάλλον «Rock Work 2006» της εντολής I-data>model. Κόκκινο βέλος: Καθορισμός της επιρροής των δειγμάτων προς την οριζόντια και προς την κάθετη διεύθυνση για την εκτίμηση των περιεκτικοτήτων των κυψελίδων. Πράσινο βέλος: Καθορισμός του αριθμού των δειγμάτων που λαμβάνονται υπόψη στην εκτίμηση των περιεκτικοτήτων των κυψελίδων.

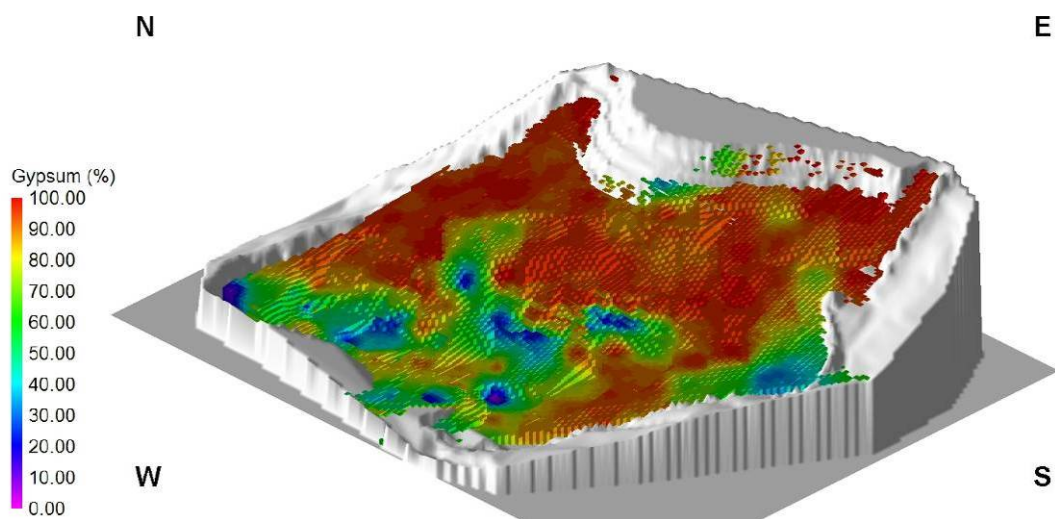
Μετά τον υπολογισμό της χωρικής κατανομής μιας παραμέτρου, το λογισμικό δίνει την δυνατότητα να εξεταστεί η γεωστατιστική αξιοπιστία του μοντέλου. Αυτό επιτυγχάνεται με την κατασκευή ενός διαγράμματος όπου προβάλλονται στον έναν άξονα οι πραγματικές μετρηθείσες τιμές των δειγμάτων και στον άλλον άξονα οι εκτιμώμενες από το μοντέλο τιμές για το ίδιο δείγμα. Η διαδικασία αυτή πραγματοποιείται με την σειρά εντολών της σελίδας «Rock Ware Utilities» *Solid>Statistics>Krajewskigram* (Εικόνα 4-25). Απαραίτητη προϋπόθεση είναι να έχουν εισαχθεί στο φύλλο εργασίας της «Rock Ware Utilities» οι τιμές μιας παραμέτρου των δειγμάτων μαζί με τις αντίστοιχες συντεταγμένες τους. Με την διαδικασία αυτή το λογισμικό αφαιρεί κάθε φορά την τιμή ενός μόνο δείγματος και με τα εναπομείναντα δείγματα εκτιμά την τιμή που θα πρέπει να έχει η παράμετρος στη συγκεκριμένη θέση του αφαιρούμενου δείγματος. Αυτό συμβαίνει για κάθε δείγμα. Επομένως, προκύπτει για κάθε σημείο-δείγμα μια επιπλέον τιμή που εκτιμήθηκε από το μοντέλο και η οποία συγκρίνεται με την πραγματική. Το διάγραμμα αυτό συνοδεύεται από τον συντελεστή συσχέτισης των τιμών (Διαγράμματα 4-9, 4-11).



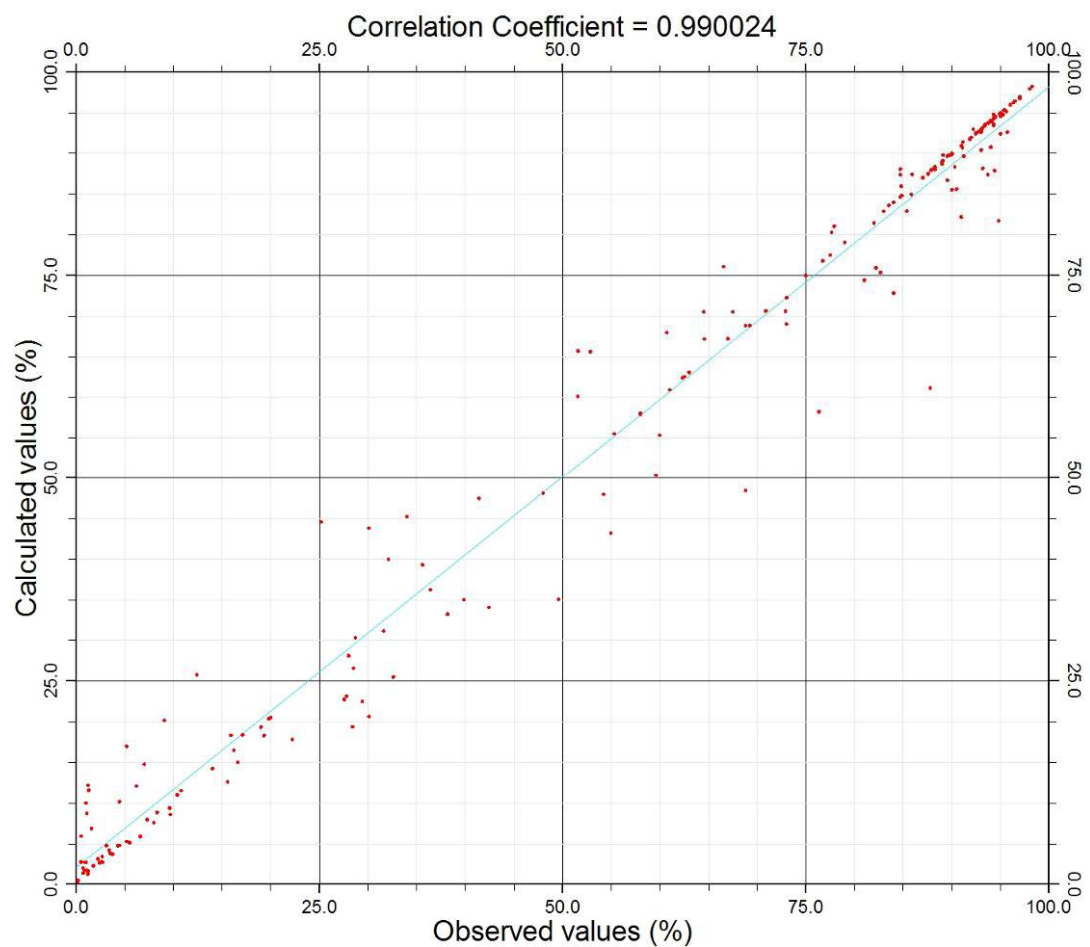
Εικόνα 4-25: Σειρά εντολών για την επιλογή της κατασκευής διαγράμματος εκτιμώμενων προς πραγματικών τιμών.

Με την μέθοδο που αναπτύχθηκε στις προηγούμενες παραγράφους, πραγματοποιήθηκε η κατασκευή των μοντέλων κατανομής των ιδιοτήτων των

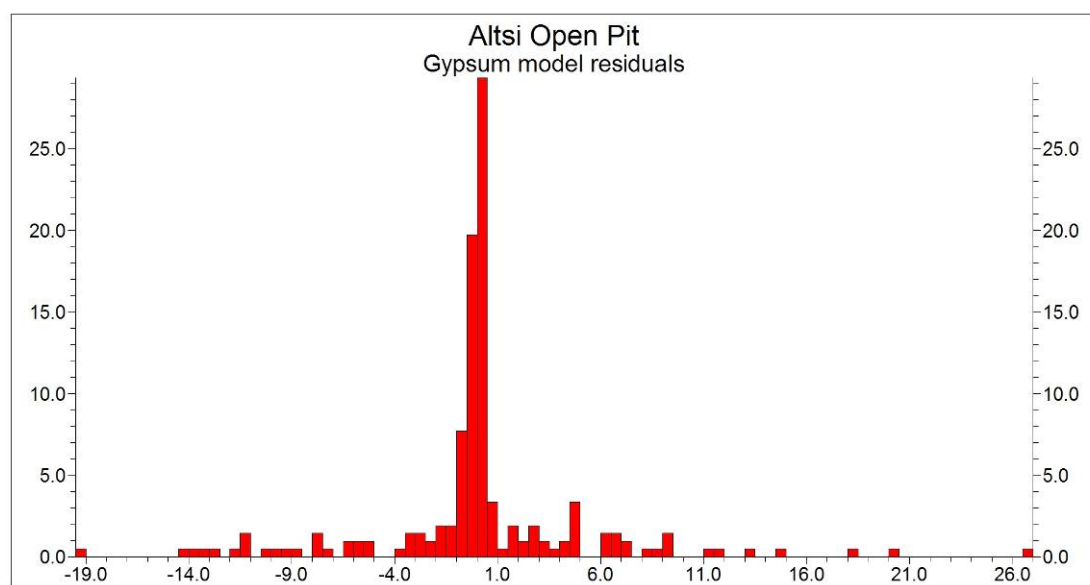
παραμέτρων γύψου και ανυδρίτη για τον λατομικό χώρο στο Αλτσι. Οι κατανομές αυτές παρουσιάζονται στα παρακάτω σχήματα μαζί με το DTM της επιφάνειας εξόφλησης του λατομείου (Εικόνα 4-21), έτσι ώστε να γίνεται ευκολότερα αντιληπτή η χωροθέτηση της εκάστοτε απεικονιζόμενης κατανομής. Τα μοντέλα κατανομής της γύψου (Εικόνα 4-26) και του ανυδρίτη (Εικόνα 4-28) ακολουθούνται από τα διαγράμματα εκτιμώμενης προς πραγματική τιμή, μαζί με τον συντελεστή συσχέτισης, για να παρουσιάζεται η αξιοπιστία του αντίστοιχου μοντέλου (Διαγράμματα 4-9, 4-11). Οι συντελεστές συσχέτισης και των δύο μοντέλων παρουσιάζουν τιμή 0.99. Οι αποκλίσεις των εκτιμώμενων από τις πραγματικές τιμές παρουσιάζονται στα αντίστοιχα ιστογράμματα (Διαγράμματα 4-10, 4-12). Η κατανομή αυτών είναι κανονική γύρω από το μηδέν και στις δύο περιπτώσεις, συμπεραίνοντας ότι τα μοντέλα δεν εισάγουν συστηματική μεροληψία στην εκτίμηση. Από τα παραπάνω καταλήγουμε ότι τα μοντέλα, που παρουσιάζονται παρακάτω, είναι γεωστατιστικώς αξιόπιστα. Τα μοντέλα κατασκευάστηκαν με τη μέθοδο του κανονικού μοντέλου 3D σταθερού μπλοκ και οι διαστάσεις των μπλοκ είναι 5 x 5 x 1m.



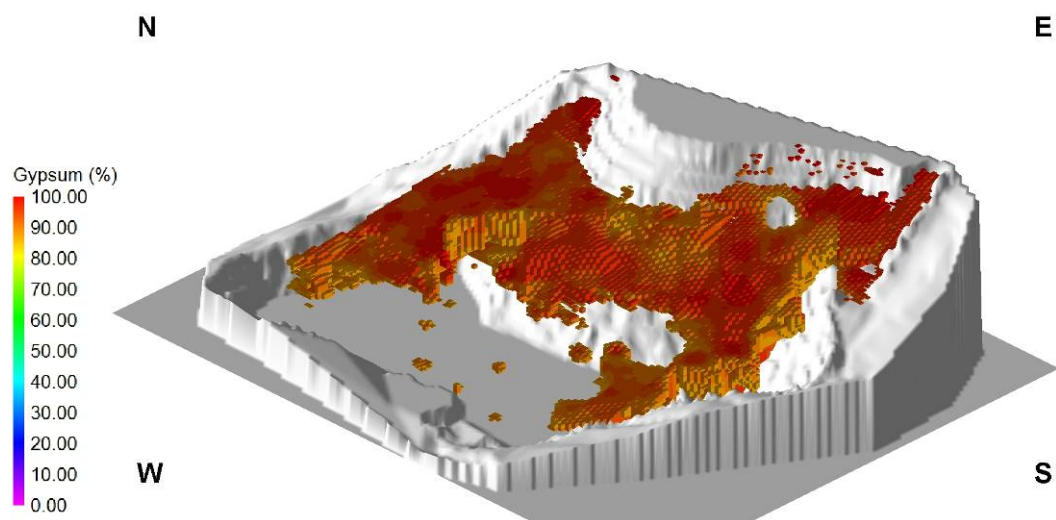
Εικόνα 4-26: Μοντέλο χωρικής κατανομής της περιεκτικότητας γύψου



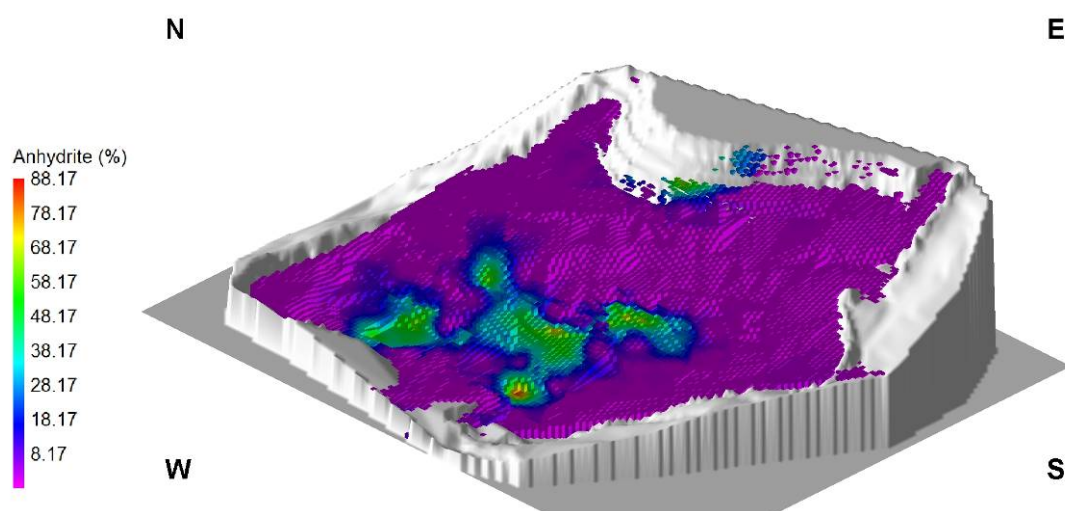
Διάγραμμα 4-10: Διάγραμμα εκτιμώμενων τιμών (calculated) προς πραγματικών τιμών (observed) της γύψου.



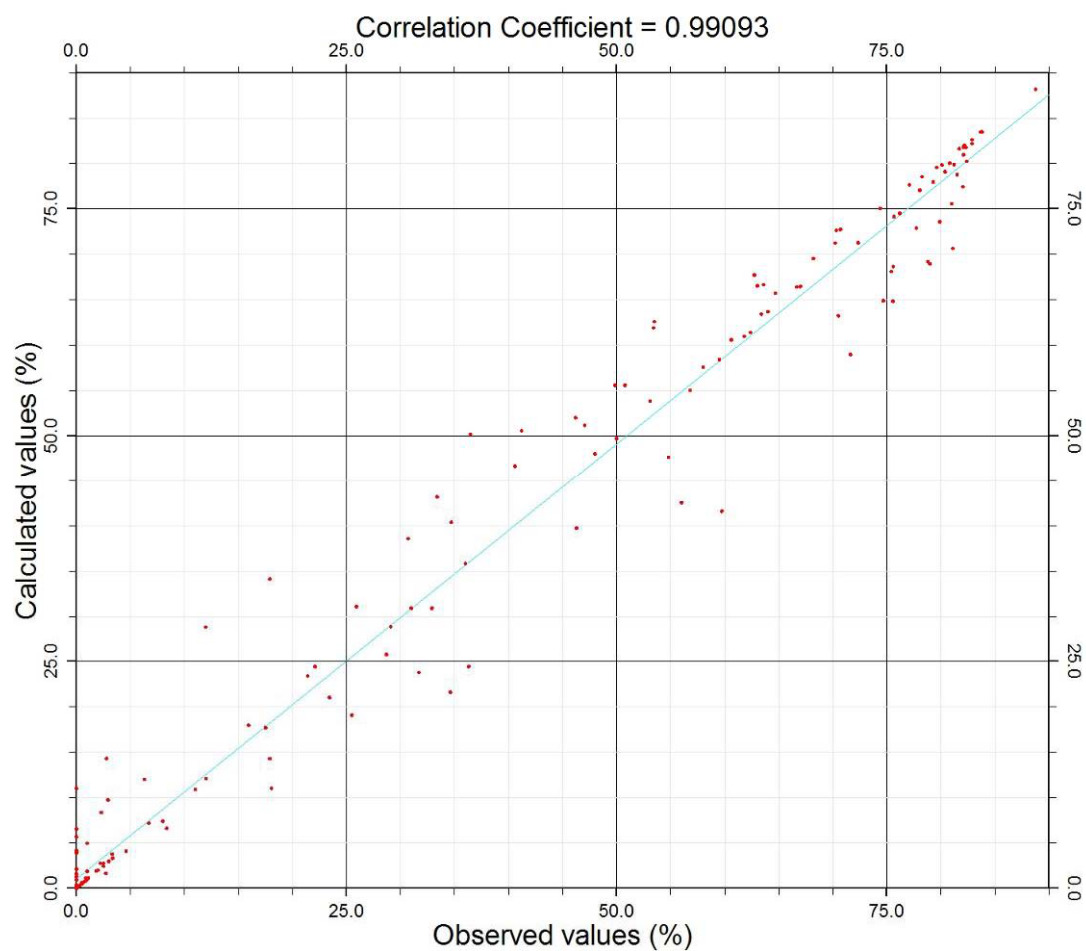
Διάγραμμα 4-11: Κατανομή της συχνότητας των αποκλίσεων των εκτιμώμενων τιμών (% περιεκτικότητα) από τις πραγματικές τιμές (% περιεκτικότητα) της γύψου.



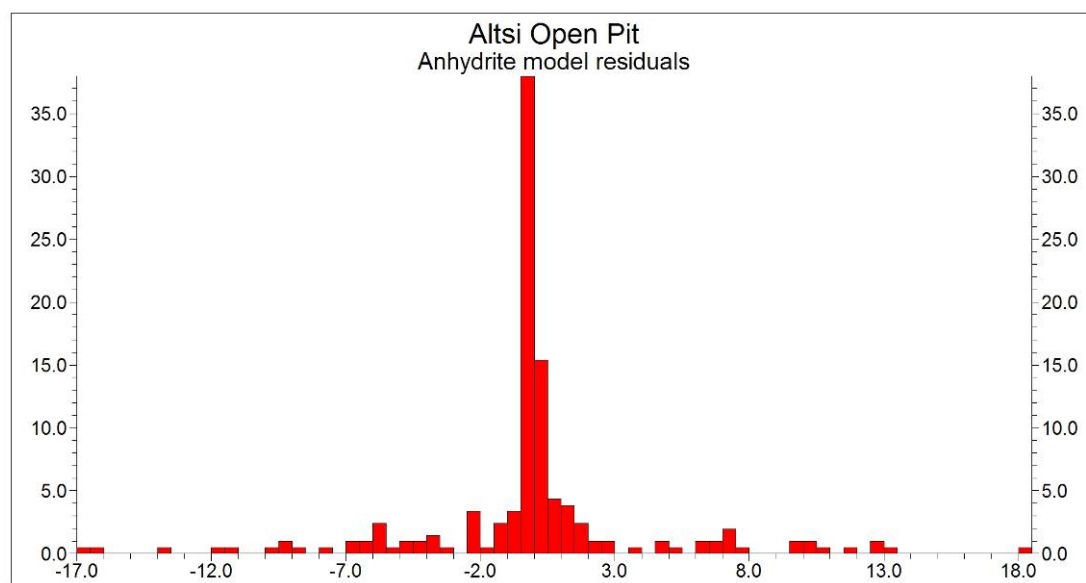
Εικόνα 4-27: Μοντέλο χωρικής κατανομής της περιεκτικότητας γύψου σε ποσοστό μεγαλύτερο από 85%



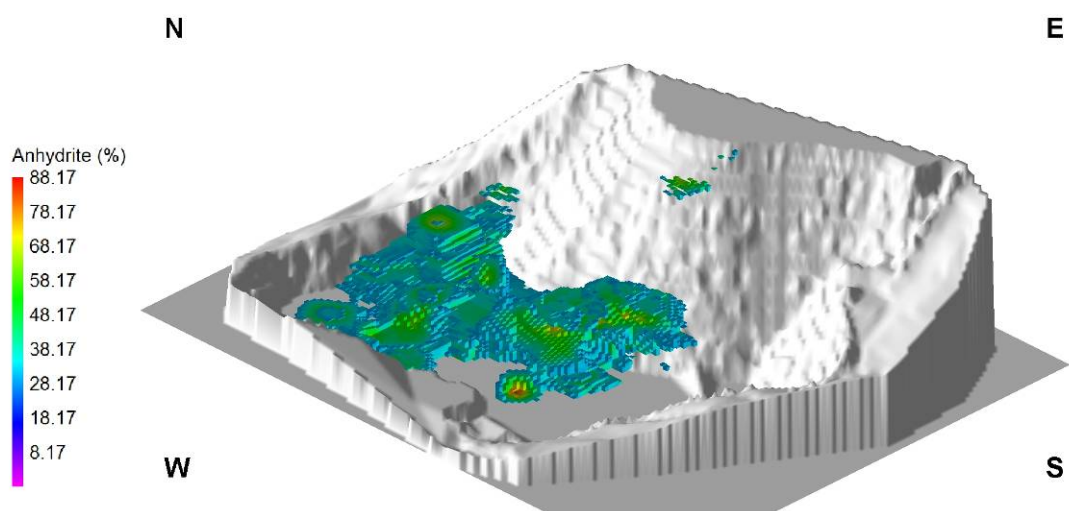
Εικόνα 4-28: Μοντέλο χωρικής κατανομής της περιεκτικότητας ανυδρίτη.



Διάγραμμα 4-12: Διάγραμμα εκτιμώμενων τιμών (calculated) προς πραγματικών τιμών (observed) του ανυδρίτη

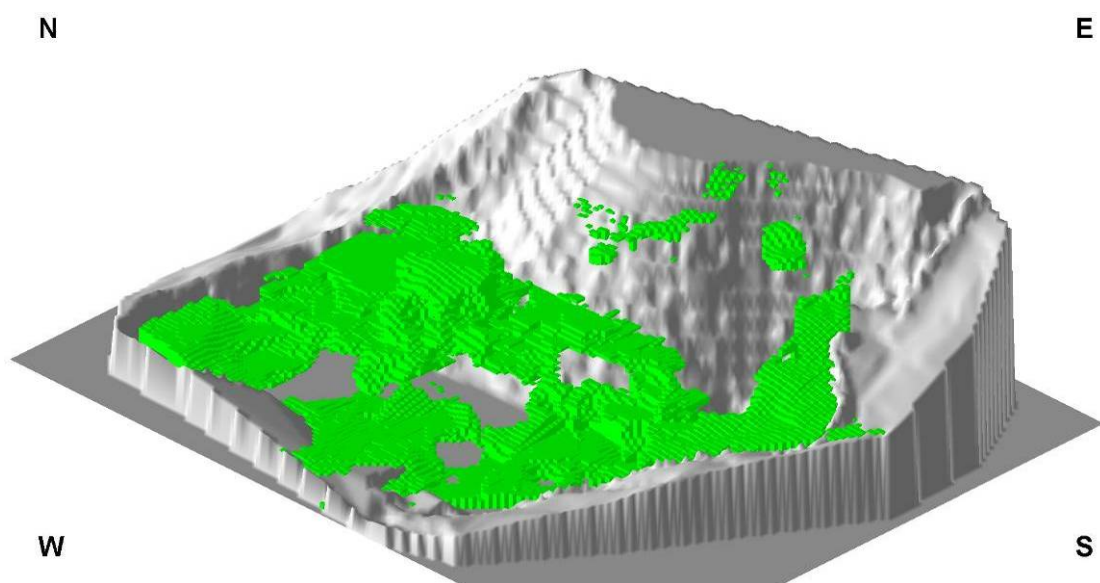


Διάγραμμα 4-13: Κατανομή των αποκλίσεων των εκτιμώμενων τιμών από τις πραγματικές τιμές του ανυδρίτη

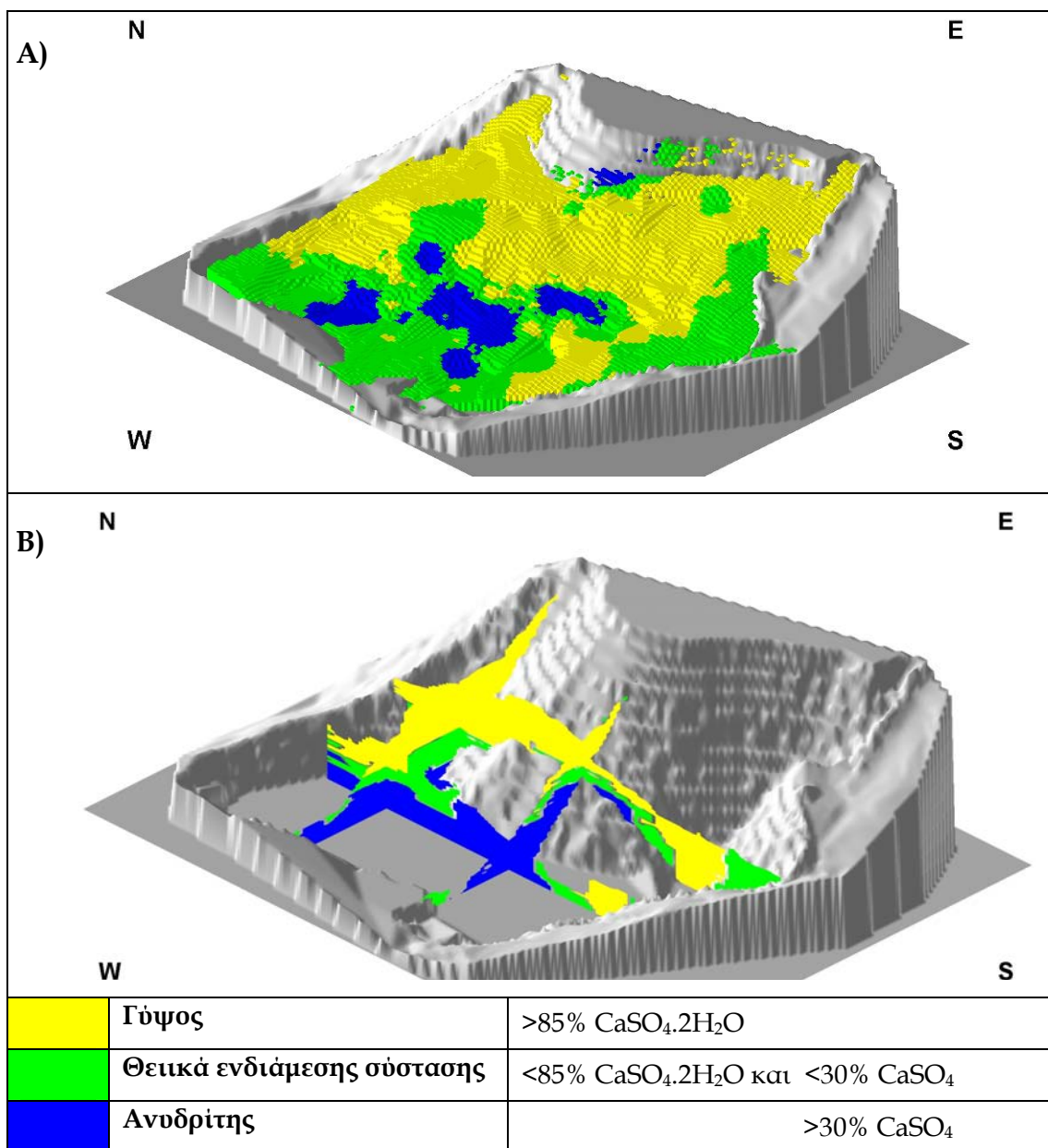


Εικόνα 4-29: Μοντέλο χωρικής κατανομής της περιεκτικότητας ανυδρίτη σε ποσοστό μεγαλύτερο από 30%

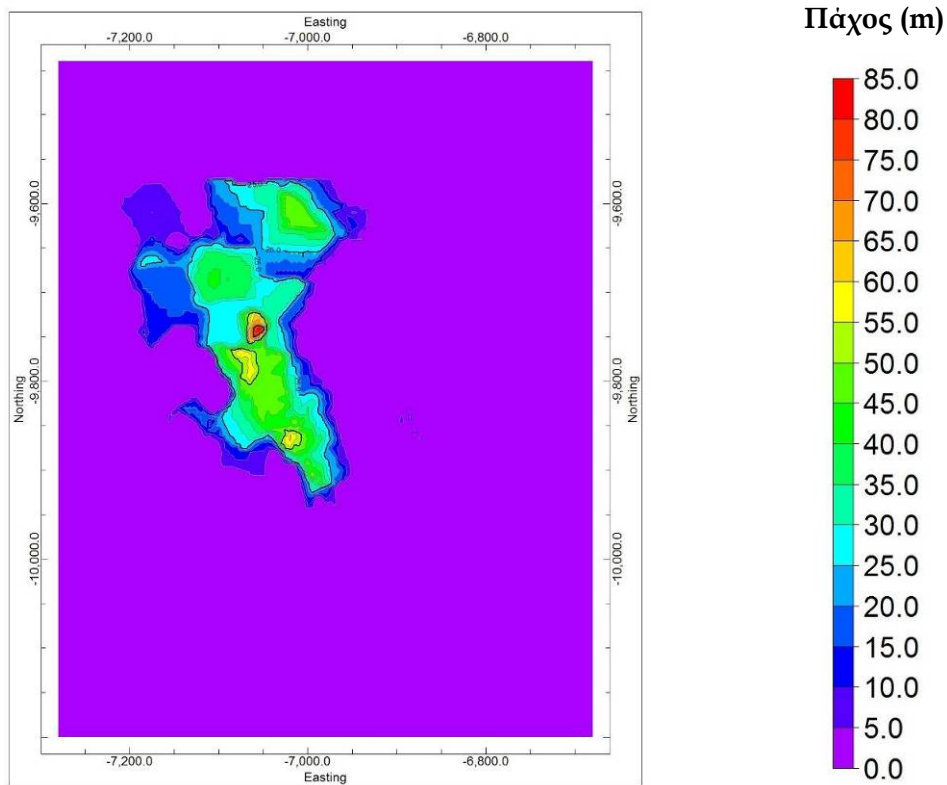
Με τα παραπάνω μοντέλα διαπιστώθηκε ότι υπάρχει μία περιοχή που χαρακτηρίζεται από τιμές περιεκτικότητας $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ μικρότερες από 85% και ταυτόχρονα μικρότερες από 30% σε CaSO_4 . Η περιοχή αυτή δεν μπορεί να χαρακτηριστεί ως γύψος, αλλά ούτε ως ανυδρίτης. Επομένως πρέπει να υιοθετηθεί ένας όρος που θα αντιπροσωπεύει την περιοχή αυτή και θα αντικατοπτρίζει την σύστασή του. Σε αυτήν την περίπτωση χρησιμοποιείται ο όρος «θειικά ενδιάμεσης σύστασης» που χαρακτηρίζει την εν λόγω περιοχή. Η χωρική κατανομή των θεικών ενδιάμεσης σύστασης παρουσιάζεται παρακάτω (Εικόνα 4-30). Και οι τρεις θεικοί σχηματισμοί του κοιτάσματος στο Αλτσί παρουσιάζονται στην εικόνα 4-31.



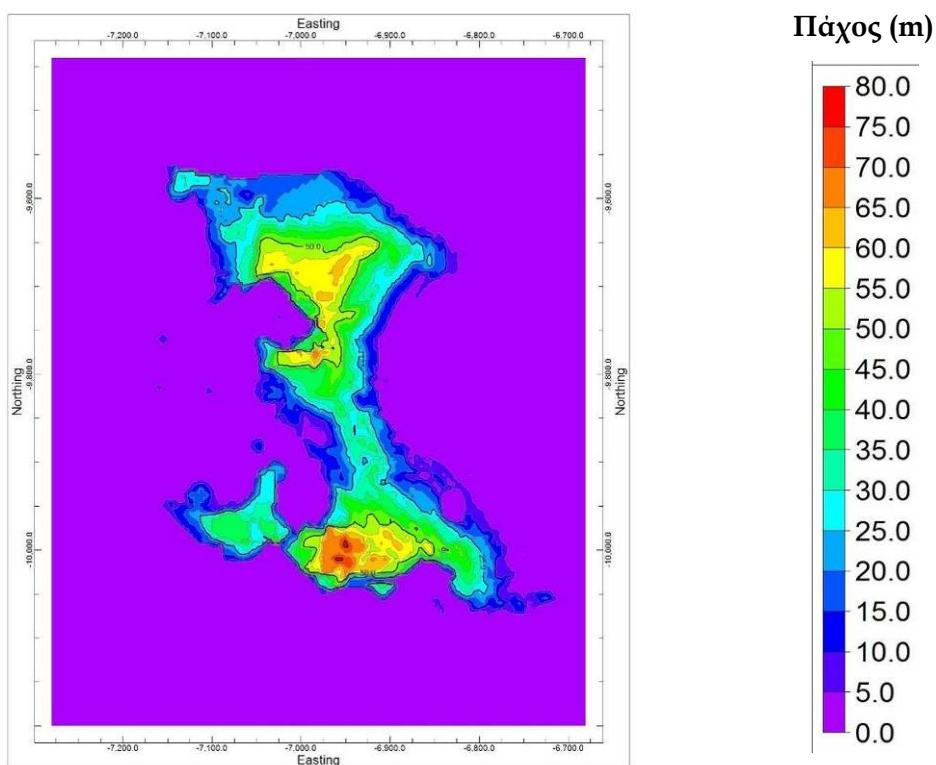
Εικόνα 4-30: Μοντέλο κατανομής των θεικών αποθέσεων ενδιάμεσης σύστασης.



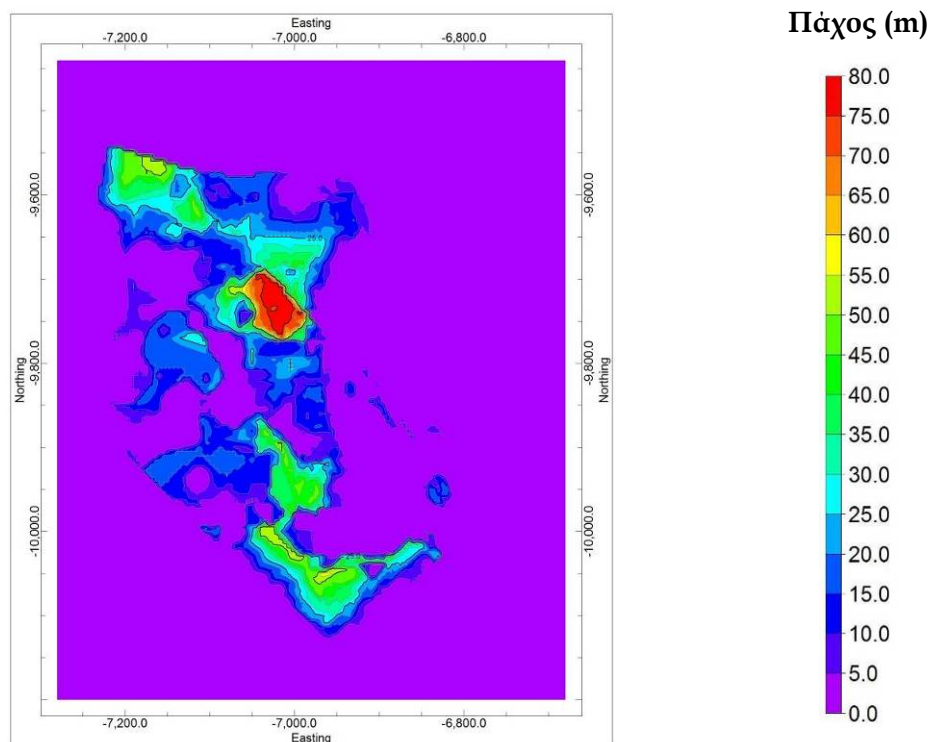
Εικόνα 4-31: Χωρική απεικόνιση της κατανομής και των τριών διαφορετικών θεικών τύπων του λατομείου στο Αλτοί. Α) Προοπτική όψη (από νοτιοδυτικά) της κατανομής με την σημερινή τοπογραφία. Β) Τομές Β-Ν και Δ-Α.



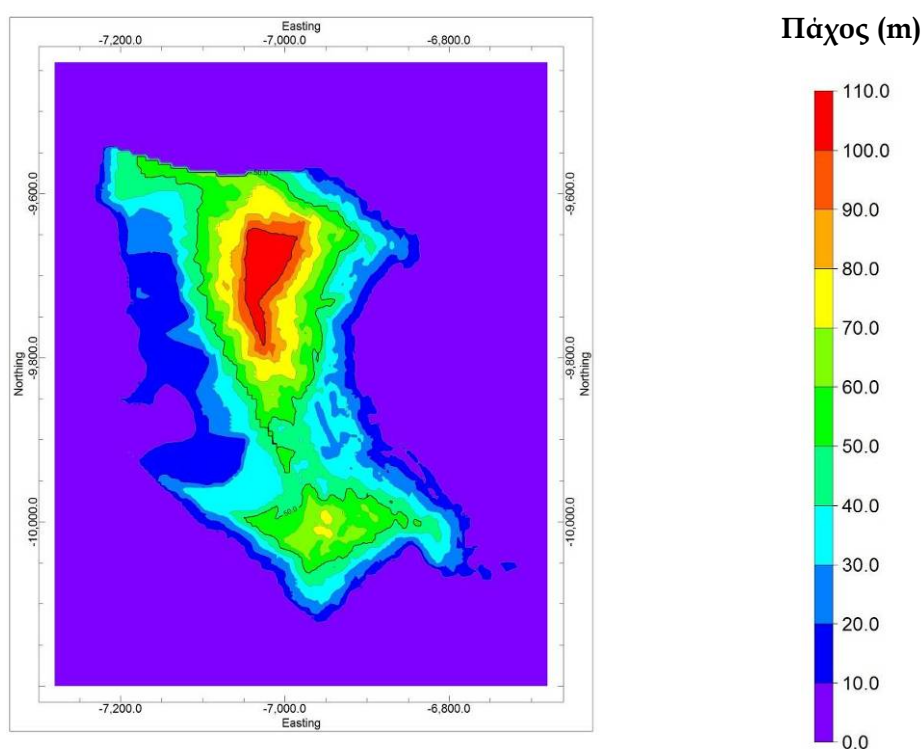
Εικόνα 4-32: Χάρτης ισοπαχών του ανυδρίτη



Εικόνα 4-33: Χάρτης ισοπαχών της γύψου.



Εικόνα 4-34: Χάρτης ισοπαχών των θεικών ενδιάμεσης σύστασης.



Εικόνα 4-35: Χάρτης ισοπαχών του θεικού κοιτάσματος συνολικά.

Τα παράπανω αποτελέσματα συνδυάζονται με τα αποτελέσματα της τεχνικής έκθεσης «Γεωμετρικό και γεωστατιστικό μοντέλο του λατομείου γύψου-ανυδρίτη στο

Αλτοί», στην οποία τα ίδια στοιχεία υπόκεινται σε δομική γεωστατιστική ανάλυση και χρησιμοποιούνται στην κατασκευή του μοντέλου τριοδιάστατης κατανομής των παραμέτρων γύψου και ανυδρίτη. Σύμφωνα με την την ενδιάμεση τεχνική έκθεση (Εμ. Μανούτσογλου κ.α., 2007):

«... Σκοπός της δομικής γεωστατιστικής ανάλυσης είναι να εντοπίσει δομές αυτοσυσχέτισης μεταξύ των μετρούμενων τιμών σε ένα γεωλογικό σώμα. Οι δομές αυτές μπορούν να θεωρηθούν αποτέλεσμα των διεργασιών που δημιούργησαν αυτό το γεωλογικό σώμα.

Αρχικά έγινε υπολογισμός των βαριογραμμμάτων για τον ανυδρίτη και τον διυδρίτη στην κατακόρυφη διεύθυνση. Τα βαριογράμματα στην κατακόρυφη διεύθυνση δίνουν ακτίνες επίδρασης (range) 40m για τον ανυδρίτη και 60m για την γύψο.

Στον πίνακα 4-10 παρατίθενται οι παράμετροι των βαριογραμμμάτων που υπολογίστηκαν. Το φαινόμενο κόκκου (nugget) παριστά τη διασπορά που αντιστοιχεί σε μικρότερες αποστάσεις από το μέγεθος του κανάβου, το κατώφλι (sill) είναι η μέγιστη τιμή στην οποία σταθεροποιείται η τιμή του βαριογράμματος. Η ακτίνα επίδρασης (range) είναι η απόσταση στην οποία το βαριογράμμα φτάνει στο κατώφλι. Το πειραματικό βαριογράμμα υπολογίζεται για διαφορετικές διευθύνσεις από τα δεδομένα για ένα σταθερό χωρικό βήμα (lag), και πάνω του προσαρμόζεται ένα θεωρητικό μοντέλο.

Πίνακας 4-10: Παράμετροι των βαριογραμμμάτων

Διεύθυνση / κλίση	Διυδρίτης			Διεύθυνση / κλίση	Ανυδρίτης		
	Nugget (φαινόμενο κόκκου)	Sill (κατώφλι)	Range (ακτίνα επίδρασης)		Nugget	Sill	Range
000 / -90	130	1960	62	000 / -90	186	568	40
140 / 00	78	743	73	140 / 00	50	880	115
090 / -25	323	1533	84	190 / 04	0	960	87
185 / -10	60	810	115	190 / -20	20	970	130

Το θεωρητικό μοντέλο για όλες τις διευθύνσεις είναι το σφαιρικό μοντέλο, ενώ το βήμα υπολογισμού του πειραματικού βαριογράμματος είναι 3m για τα κατακόρυφα βαριογράμματα και 20 ως 35m για τις άλλες διευθύνσεις. Οι διευθύνσεις που περιλαμβάνονται στον πίνακα 4-10 είναι οι μόνες για τις οποίες ήταν δυνατός ο υπολογισμός βαριογραμμμάτων. Σε όλες τις άλλες το αποτέλεσμα ήταν καθαρό nugget, δηλαδή δεν ήταν δυνατό να προσδιοριστεί ακτίνα επίδρασης.

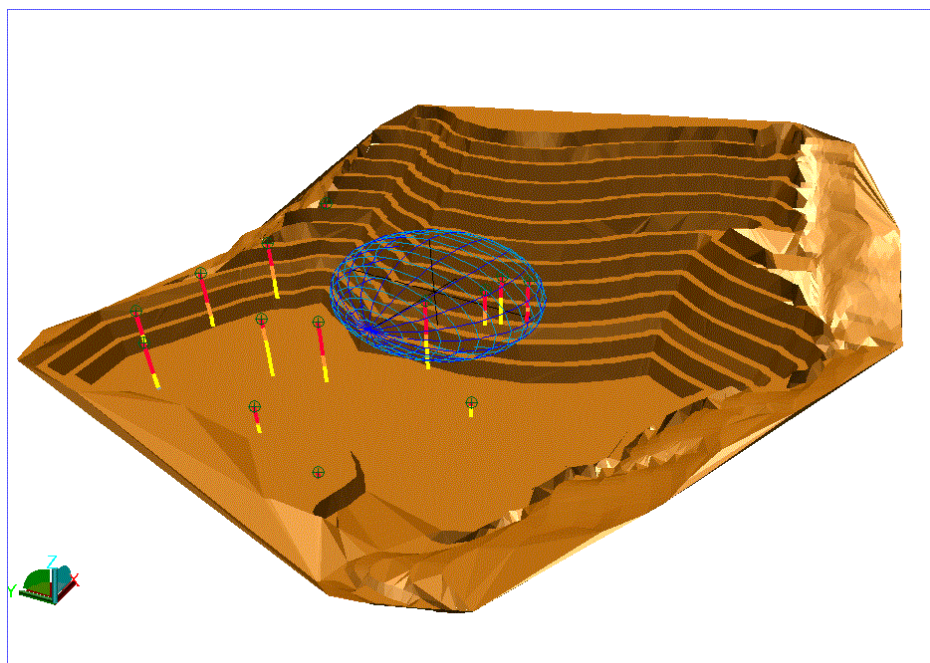
Τα αποτελέσματα της δομικής ανάλυσης δείχνουν την ύπαρξη δομών αυτοσυσχέτισης σε ορισμένες διευθύνσεις (πίνακας 4-10), οι υπολογισμοί αυτοί όμως δεν είναι εντελώς αξιόπιστοι, αφού σε όλες τις άλλες διευθύνσεις εκτός από την κατακόρυφη βασίζονται σε στοιχεία που

έχουν απόσταση μεταξύ τους τουλάχιστον 40m. Τα βαριογράμματα έδειξαν μεγάλη ευαισθησία στην μεταβολή του χωρικού βήματος, κάτι που δικαιολογείται από τα λίγα διαθέσιμα στοιχεία.

Αποτέλεσμα της δομικής γεωστατιστικής ανάλυσης είναι η κατασκευή ενός τρισδιάστατου ελλειψοειδούς ανισοτροπίας για κάθε παράμετρο. Στο ελλειψοειδές αυτό θα βασιστεί η εκτίμηση των παραμέτρων στις περιοχές ανάμεσα στα δείγματα. Με βάση τις τιμές του πίνακα 4-10 τα ελλειψοειδή για τον διυδρίτη και τον ανυδρίτη προσδιορίστηκαν ως εξής:

Πίνακας 4-11: Παράμετροι των τριαξονικών ελλειψοειδών ανισοτροπίας

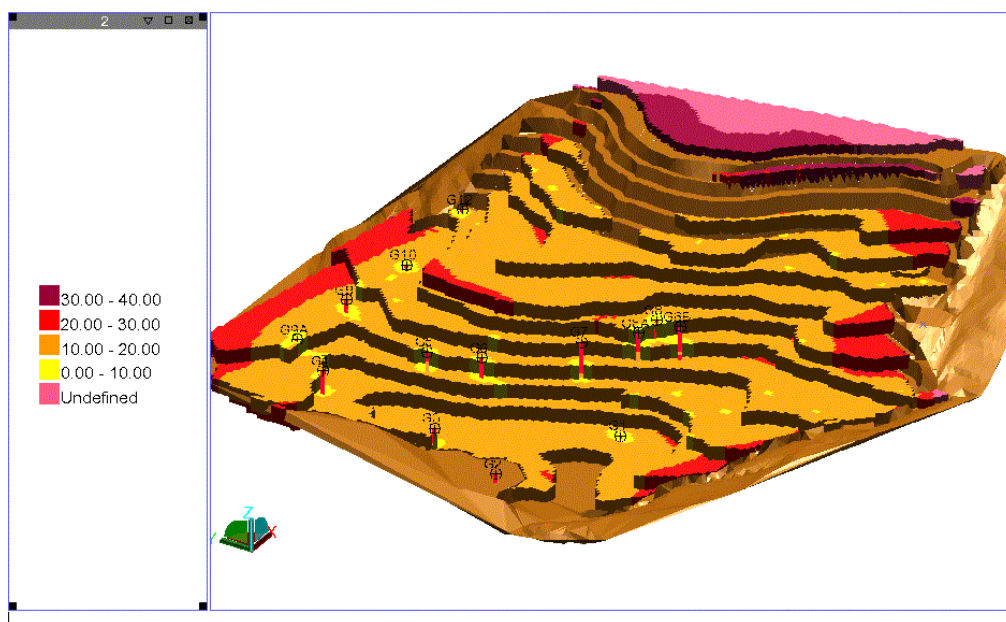
Παράμετρος	Διυδρίτης	Ανυδρίτης
Διεύθυνση μεγάλου άξονα	B190°	B190°
Κλίση μεγάλου άξονα	4°	-20°
Περιστροφή μεγάλου άξονα	0	0
Ακτίνα επίδρασης μέγιστη	110	130
μεγάλος / ενδιάμεσος άξονας	1,27	1,05
μεγάλος / μικρός άξονας	2,10	3,33
C (nugget)	60	20
Sill (κατώφλι)	810	970



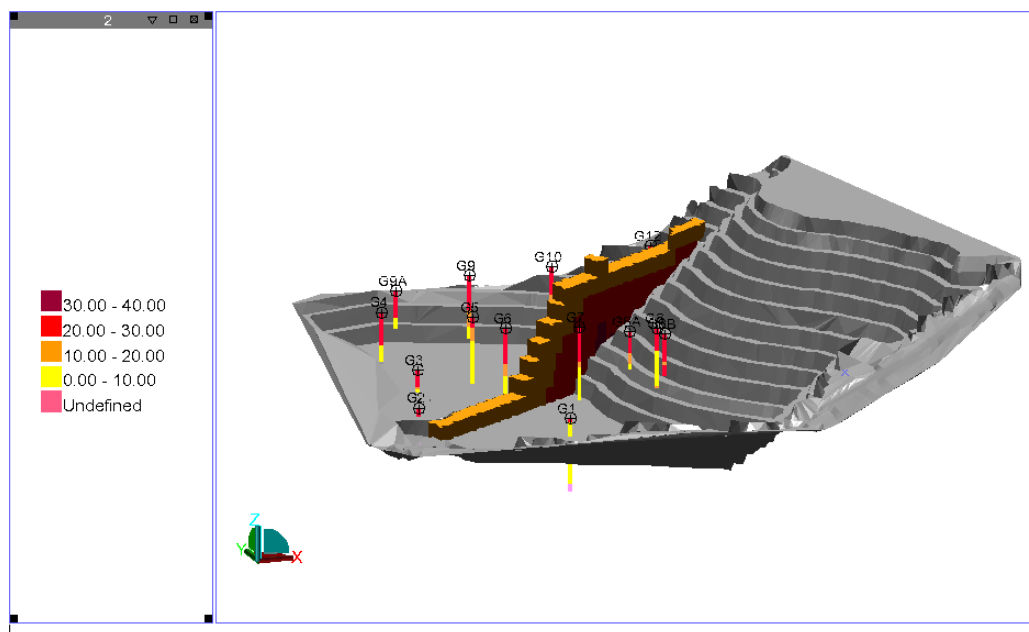
Εικόνα 4-36: Το τριαξονικό ελλειψοειδές της ανισοτροπίας του βαριογράμματος για τις τιμές περιεκτικότητας σε διυδρίτη

Το μοντέλο αυτό κατασκευάστηκε με τη μέθοδο του κανονικού μοντέλου 3D σταθερού μπλοκ και οι διαστάσεις των μπλοκ είναι 3.5 X 3.5 X 15 m. Για την τελική μορφή του, συνδυάστηκε με τα ψηφιακά μοντέλα της σημερινής και της τελικής μορφής του λατομείου. Η ιδιότητες που αποδόθηκαν σε αυτό το μοντέλο είναι η περιεκτικότητα σε διυδρίτη ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) και ανυδρίτη (CaSO_4)...

... Με βάση τα βαριογράμματα και τα ελλειψοειδή ανισορροπίας που προσδιορίστηκαν και χρησιμοποιώντας τα στοιχεία των 14 γεωτρήσεων και την νέα επιφανειακή δειγματοληψία, η αξιοπιστία του μοντέλου που κατασκευάστηκε κυμαίνεται σε μέτρια επίπεδα (εικόνες 4-37, 4-38). Αυτό οφείλεται αφενός στις μεγάλες αποστάσεις μεταξύ των γεωτρήσεων και αφ' ετέρου στο γεγονός ότι τα επιφανειακά δείγματα δεν επαρκούν για να εκτιμήσουν αξιόπιστα τα βαθύτερα τμήματα του γυψωρυχείου. Επί πλέον πρέπει να τονιστεί ότι και τα μοντέλα των βαριογραμμάτων που χρησιμοποιήθηκαν δεν είναι εντελώς αντιπροσωπευτικά, αφού σε πολλές διευθύνσεις δεν ήταν δυνατός ο υπολογισμός τους, λόγω έλλειψης στοιχείων.



Εικόνα 4-37: Κατανομή των σφαλμάτων εκτίμησης περιεκτικότητας σε $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (%) στο μοντέλο (υπολογισμένα από την Kriging Variance).



Εικόνα 4-38: Κατανομή των σφαλμάτων εκτίμησης περιεκτικότητας σε $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (%) στο μοντέλο (υπολογισμένα από την Kriging Variance). Τομή ΝΔ-ΒΑ.

Κεφάλαιο 5 : Συμπεράσματα - Προτάσεις

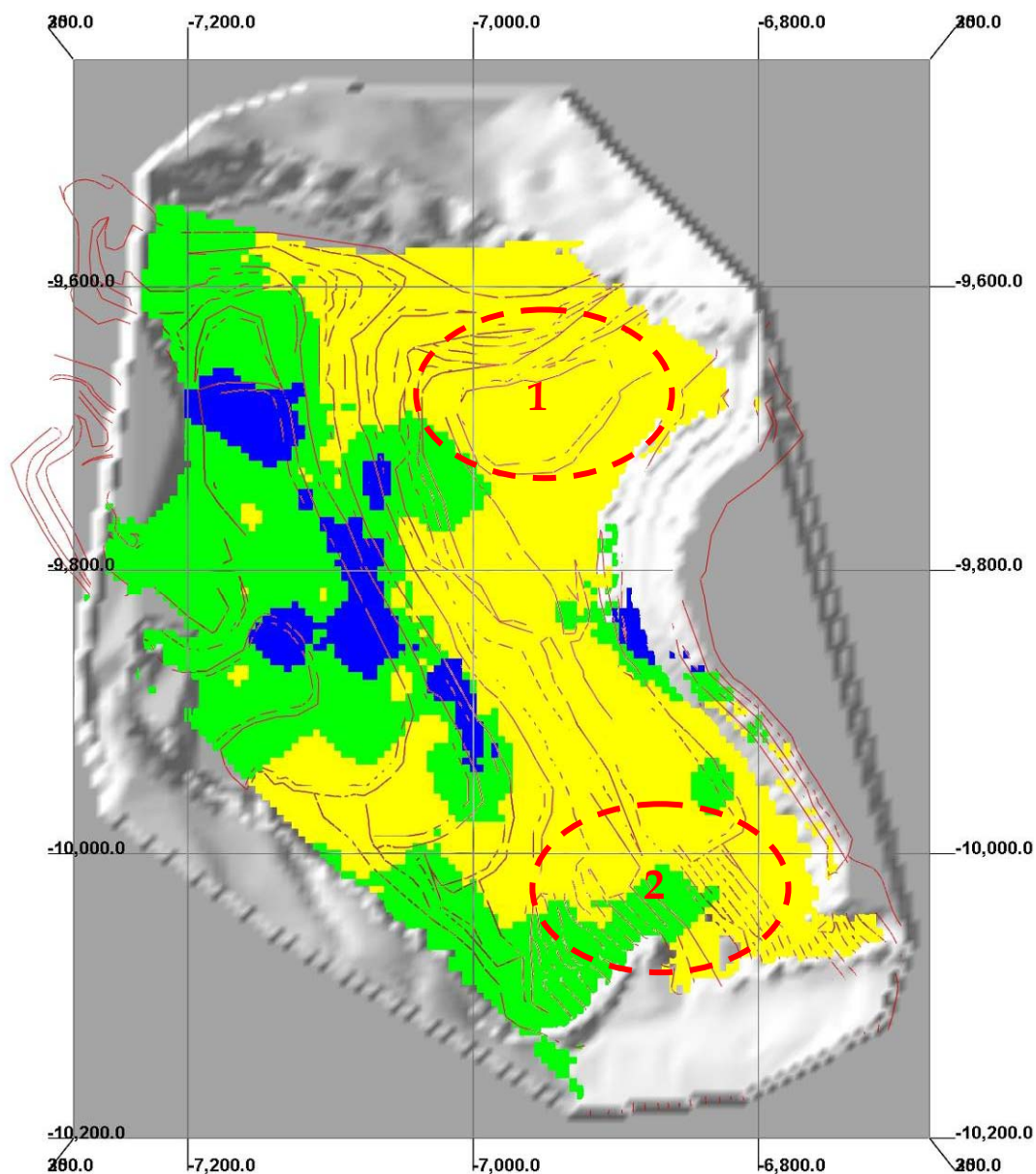
Τα συμπεράσματα που αναπτύσσονται στο παρόν κεφάλαιο προέκυψαν από την επεξεργασία των γεωχημικών αποτελεσμάτων 100 σημειακών δειγμάτων επιφανείας, μήκους 1m, και 14 πυρήνων γεωτρήσεων συνολικού βάθους 443m, από την γεωλογική χαρτογράφηση κλίμακας 1:500 του λατομικού χώρου και την ορυκτολογική μελέτη των χαρακτηριστικών λιθολογικών εμφανίσεων με χρήση πολωτικού μικροσκοπίου διερχόμενου φωτός. Η επεξεργασία των ερμηνευμένων γεωχημικών δεδομένων πραγματοποιήθηκε με την βοήθεια του λογισμικού «Rock Works 2006» και κατασκευάστηκαν τα τρισδιάστατα μοντέλα κατανομής των γεωχημικών παραμέτρων γύψου και ανυδρίτη, όπως αναπτύχθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο. Τα μοντέλα αυτά σε συνδυασμό με τα αποτελέσματα της γεωλογικής χαρτογράφησης και της μελέτης των λεπτών τομών οδήγησαν στην εξαγωγή συμπερασμάτων, που σχετίζονται με την γεωλογική δομή του κοιτάσματος γύψου – ανυδρίτη και την χωρική κατανομή των θεικών φάσεων μέσα σε αυτό, όπως αυτές προέκυψαν από τις μεταβολές που αυτό υπέστη κατά την βύθιση/μεταμόρφωση και τον ακόλουθο εκταφιασμό του από το Πέρμιο ως σήμερα. Τα συμπεράσματα αυτά αποτελούν τη βάση για τον καθορισμό των προτάσεων για τις νέες θέσεις γεωτρήσεων, που θα στοχεύουν στην συγκέντρωση πληροφοριών από τις περιοχές του λατομείου όπου δεν υπάρχουν στοιχεία, την αύξηση της αξιοπιστίας του μοντέλου με απώτερο σκοπό την απρόσκοπτη λειτουργίας του λατομείου στα επόμενα χρόνια.

Συγκρίνοντας το τελικό μοντέλο που προέκυψε από την επεξεργασία του συνόλου των υπάρχοντων δεδομένων με το αποτέλεσμα της λεπτομερούς γεωλογικής χαρτογράφησης προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα:

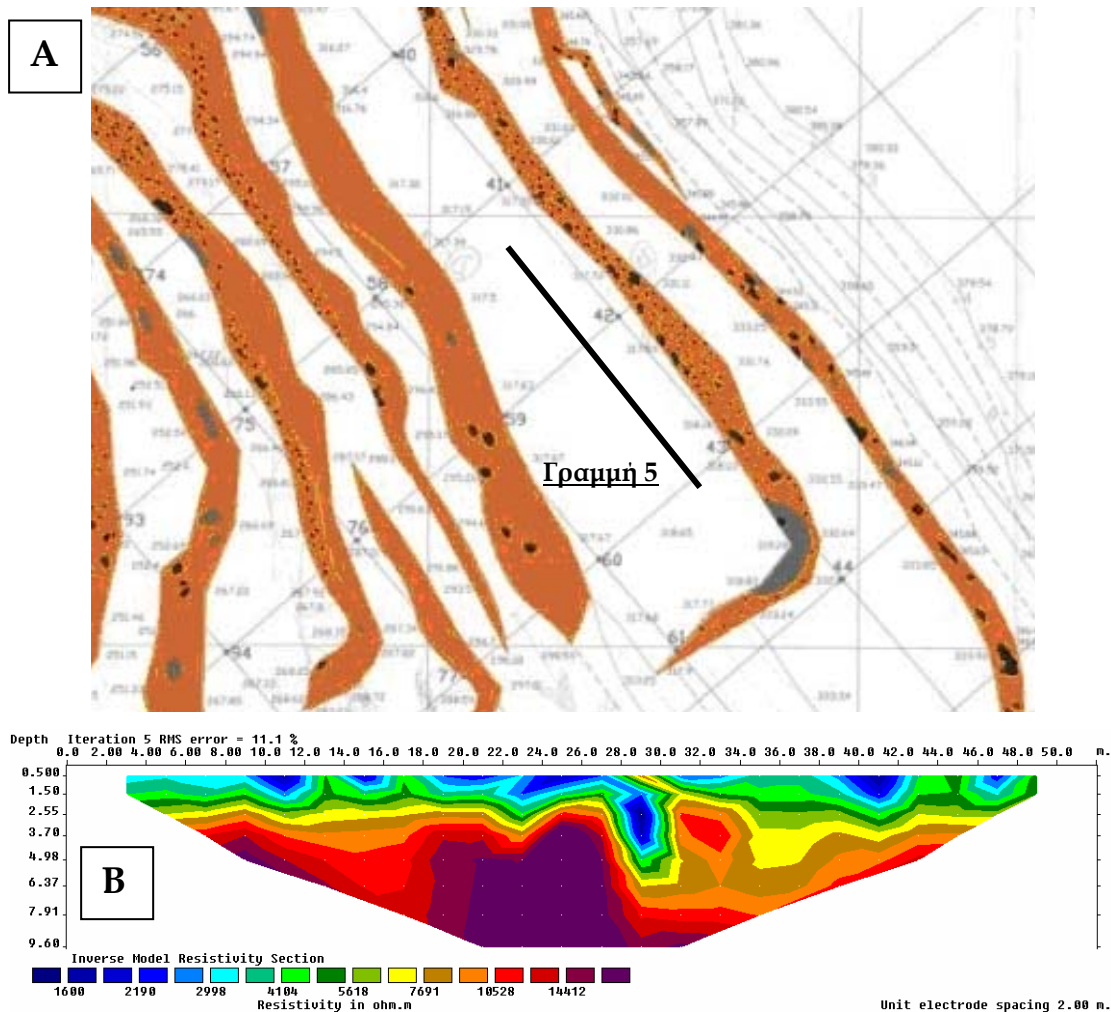
Η τρισδιάστατη προσομοίωση της κατανομής των περιεκτικοτήτων γύψου-ανυδρίτη συμπίπτει σε μεγάλο βαθμό με την γεωλογική χαρτογράφηση. Μόνο σε δύο περιοχές του λατομικού χώρου παρατηρούνται διαφοροποιήσεις. Οι περιοχές αυτές παρουσιάζονται στην εικόνα 5-1 με τις δύο διακεκομμένες ελλείψεις. Συγκεκριμένα για την περιοχή 1, στην γεωλογική χαρτογράφηση αποτυπώνονται ανυδριτικές εμφανίσεις οι οποίες όμως δεν παρουσιάζονται στην τρισδιάστατη προσομοίωση. Στην περιοχή αυτή τα δείγματα, τα οποία καθόρισαν την εσφαλμένη τελική χωρική κατανομή των περιεκτικοτήτων γύψου-ανυδρίτη, χαρακτηρίστηκαν στην βάση δεδομένων ως «γύψος» βασιζόμενοι στην γεωχημική τους ανάλυση. Όμως, οι

εκτενείς εμφανίσεις ανυδρίτη στην συγκεκριμένη περιοχή αποτελούν τεκμήριο για να ελεγχθεί αν τα δείγματα αυτά εισάγουν σφάλμα στην εκτίμηση. Αποκλείοντας εκ προωμίου το σφάλμα κατά την διάρκεια των γεωχημικών αναλύσεων, καταλήγουμε ότι πρόκειται για σφάλμα δειγματοληψίας. Δηλαδή, τα δείγματα αυτά δεν χαρακτηρίζουν τους *in situ* σχηματισμούς, αλλά αποτελούν υλικά τα οποία βρέθηκαν στην περιοχή ως φερτά υλικά. Στο συμπέρασμα αυτό συνηγορεί και το γεγονός ότι η δειγματοληψία αυτών των δειγμάτων πραγματοποιήθηκε παρακειμένως του δρόμου προσπέλασης, όπου βρίσκονται αρκετά τέτοια υλικά.

Επιπλέον, η τρισδιάστατη προσομοίωση δεν εκτίμησε την ανυδριτική εμφάνιση που αποτυπώθηκε στην γεωλογική χαρτογράφηση στην περιοχή 2. Η ανυδριτική εμφάνιση έχει μικρότερη έκταση από αυτήν της περιοχής 1, και ενδεχομένως αυτός να είναι ο λόγος που είναι δύσκολη η εκτίμησή της από το τρισδιάστατο μοντέλο ιδιοτήτων. Επιπροσθέτως, τα υπάρχοντα γεωτρητικά στοιχεία βρίσκονται μακριά από την εμφάνιση αυτή, μειώνοντας την αξιοπιστία των εκτιμήσεων. Θα μπορούσε να θεωρηθεί ότι αυτή η ανυδριτική εμφάνιση είναι μεμονωμένη και μικρής έκτασης, χωρίς να επηρεάζει το αποτέλεσμα της τελικής τρισδιάστατης προσομοίωσης. Όμως, σύμφωνα με την διπλωματική εργασία του Γ. Βάχλα (2007), η γραμμή γεωηλεκτρική διασκόπησης (γραμμή 5) που πραγματοποιήθηκε στην συγκεκριμένη περιοχή (εικόνα 5-2) υποδεικνύει έναν ακόμα ανυδριτικό όγκο στα 3m βάθος, που κάνει πιο πιθανό το ενδεχόμενο ύπαρξης ανυδρίτη αξιολογών διαστάσεων, στο συγκεκριμένο τμήμα του λατομείου.



Εικόνα 5-1: Κάτοψη της τρισδιάστατης προσομοίωσης κατανομής των θεικών σχηματισμών του λατομικού χώρου (για υπόμνημα βλέπε εικόνα 4-31). Με τις κόκκινες διακεκομμένες ελλείψεις οριοθετούνται οι δύο περιοχές όπου διαπιστώθηκε διαφοροποίηση της γενικευμένης γεωλογικής χαρτογράφησης (εικόνα 4-3) και της προσομοίωσης.



Εικόνα 5-2: Α) Τοποθέτηση (σε περιβάλλον λογισμικού autocad) επί του γεωλογικού χάρτη του λατομικού χώρου της γραμμής γεωηλεκτρικής διασκόπησης. Β) Το αποτέλεσμα της γραμμής γεωηλεκτρικής διασκόπησης. Οι υψηλές ειδικές αντιστάσεις αντιστοιχούν στην ύπαρξη ανυδρικού όγκου περίπου από 3m βάθος (Γ. Βάχλας, 2007).

Για να βελτιωθεί η ακρίβεια των εκτιμήσεων, προτείνονται 5 ερευνητικά σενάρια, με συνδυασμούς ερευνητικών γεωτρήσεων και δειγματοληψίας με Wagon Drill και μόνο με δειγματοληψία Wagon Drill. Για τη δειγματοληψία με Wagon Drill θεωρείται ως μέγιστο βάθος δειγματοληψίας σε κάθε θέση 25 m (εκτός αν αναφέρεται λιγότερο) και το μήκος δείγματος 3m. Η προσέγγιση αυτή επιλέγεται ώστε να αυξηθεί η πυκνότητα της διαθέσιμης χωρικής πληροφορίας χωρίς να αυξηθεί υπέρογκα το κόστος.

Όλα τα προτεινόμενα ερευνητικά σενάρια επικεντρώνονται στις περιοχές που δεν υπάρχουν αυτήν τη στιγμή επαρκή δείγματα/στοιχεία, ενώ ταυτόχρονα παρουσιάζουν και το μεγαλύτερο πάχος απολήψιμου υλικού. Στον χάρτη ισοπαχών της εικόνας 4-35 φαίνεται ότι το μεγαλύτερο πάχος ανάμεσα στη σημερινή τοπογραφία και το δάπεδο εξόφλησης είναι μεγαλύτερο από 100m στο βόρειο τμήμα

του λατομείου, ανατολικά των γεωτρήσεων Γ5 και Γ6 και νότια της γεώτρησης Γ10. Στο τμήμα αυτό περιλαμβάνεται και τμήμα της περιοχής 1, όπως αυτή ορίστηκε παραπάνω (εικόνα 5-1). Επίσης στο νότιο τμήμα του λατομείου το πάχος είναι μεγαλύτερο από 70 m, χωρίς να υπάρχουν στοιχεία γεωτρήσεων, όπου και πάλι στο τμήμα αυτό περιλαμβάνεται η περιοχή 2.

Οι γεωτρήσεις που προτείνονται δεν χρειάζεται να φθάσουν βαθύτερα από το δάπεδο εξόφλησης. Με δεδομένο μάλιστα ότι η κατακόρυφη ακτίνα επίδρασης είναι 40m για τον ανυδρίτη 60m για το διωδρίτη, θα μπορούσαν να σταματήσουν σε μικρότερο βάθος (π.χ. 20m πριν το δάπεδο, έτσι ώστε να υπάρχει δείγμα έως και από το προτελευταίο επίπεδο εκμετάλλευσης).

Όσον αφορά τις απαιτήσεις της εκτίμησης της κατανομής των ποιοτήτων στο λατομείο, με βάση τα αποτελέσματα της δομικής γεωστατιστικής ανάλυσης, δηλαδή την υπολογισμένη ακτίνα επίδρασης των 60m για το διωδρίτη, και με την ένδειξη ότι για τον ανυδρίτη στο οριζόντιο επίπεδο η ακτίνα επίδρασης είναι πολύ μεγαλύτερη από τα 40m που βεβαιώνουν οι γεωτρήσεις, οι γεωτρήσεις μπορούν να απέχουν περί τα 120m από τις ήδη υπάρχουσες και μεταξύ τους, ώστε να επιτευχθεί η μέγιστη δυνατή κάλυψη του χώρου του λατομείου.

Αντίθετα, αν είναι επιθυμητή η βελτίωση της αξιοπιστίας των εκτιμήσεων, τότε κάποιες από τις ερευνητικές γεωτρήσεις πρέπει να βρίσκονται σε απόσταση τουλάχιστον 40m από τις προϋπάρχουσες και μεταξύ τους, ώστε να υπολογιστούν εκ νέου τα βαριογράμματα και να επαναπροσδιορισθούν τα ελλειψοειδή ανισοτροπίας. Ακριβώς επειδή οι απαιτήσεις αυτές είναι αντικρουόμενες, με δεδομένο ότι το κόστος της έρευνας πρέπει να διατηρηθεί σε αποδεκτά πλαίσια, προτείνονται διαφορετικά σενάρια, τα οποία αναλύονται παρακάτω.

Ερευνητικό σενάριο 1:

Πέντε (5) πυρηνοληπτικές γεωτρήσεις, συνολικού μήκους 250m

Σκοπός αυτής της εκδοχής είναι να επιτευχθεί ουσιαστική βελτίωση των βαριογραμμάτων και συνεπακόλουθα της αξιοπιστίας των αποτελεσμάτων των εκτιμήσεων, επιτυγχάνοντας ταυτόχρονα και τη μέγιστη δυνατή κάλυψη των περιοχών που δεν έχουν ερευνηθεί.

Με βάση τα παραπάνω προτείνονται 5 γεωτρήσεις, όπως παρουσιάζονται στον χάρτη της εικόνας 5-3:

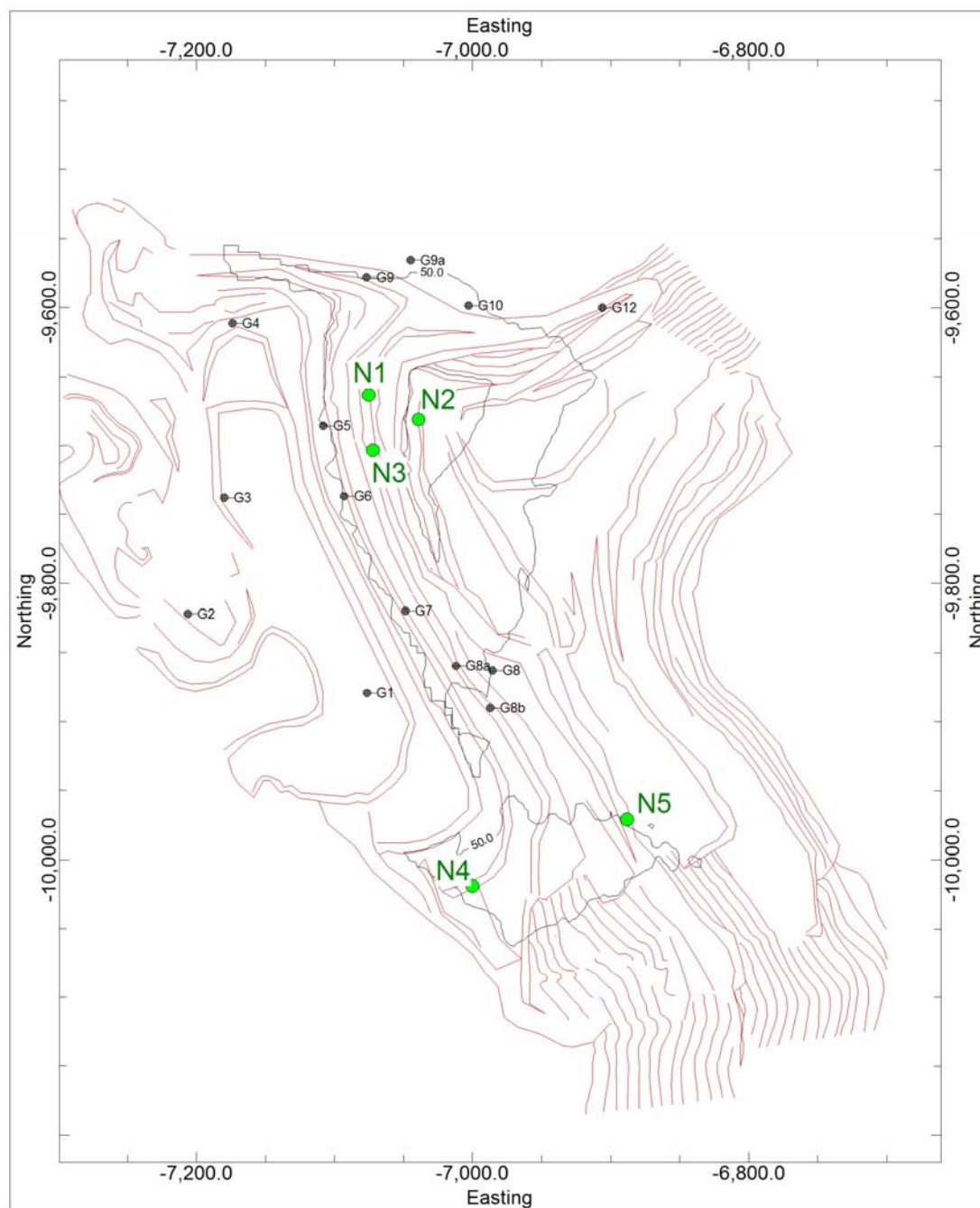
Οι τρεις γεωτρήσεις N1, N2 και N3 τοποθετήθηκαν στο βόρειο τμήμα του λατομείου, στην περιοχή του μέγιστου πάχους του απολήψιμου υλικού, κοντά στις γεωτρήσεις G5 και G6. Με αυτόν τον τρόπο δημιουργείται ένας κάναβος από 5 γεωτρήσεις με απόσταση 40m, έτσι ώστε να επιτρέψει τον υπολογισμό βαριογραμμάτων σε όλες τις διευθύνσεις στο χώρο και άρα έναν καλύτερο προσδιορισμό των ελλειψοειδών ανισοτροπίας.

Οι γεωτρήσεις N4 και N5 τοποθετήθηκαν στο νότιο τμήμα του λατομείου, όπου το πάχος του απολήψιμου υλικού φτάνει τα 70 – 80m και δεν υπάρχουν άλλες γεωτρήσεις κοντά. Σε αυτές ο σκοπός της τοποθέτησης είναι να καλύψουν την περιοχή με δείγματα για την εκτίμηση, χρησιμοποιώντας τα βαριογράμματα που προσδιορίστηκαν από τις άλλες τρεις, αφού η απόσταση τους από τις άλλες γεωτρήσεις αλλά και μεταξύ τους δεν αναμένεται να συνεισφέρει στον καλύτερο προσδιορισμό της ανισοτροπίας. Στον παρακάτω πίνακα περιγράφονται οι γεωτρήσεις:

	X	Y	Z	Προτεινόμενο βάθος (m)	Βάθος ως εξόφληση	Αριθμός δειγμάτων (/3 m)
N1	-7075	-9663	257	50	72.10	16
N2	-7039	-9681	292	85	107.24	28
N3	-7072	-9703	260	50	75.42	16
N4	-7000	-10019	244	40	59.90	13
N5	-6886	-9971	295	25	42.42	8
Σύνολο				250		81

Το σενάριο 1 έχει το πλεονέκτημα ότι επιτρέπει έναν καλύτερο υπολογισμό για τα βαριογράμματα και άρα βελτιώνει την αξιοπιστία των εκτιμήσεων. Ακόμη επιτρέπει την αύξηση της πληροφορίας σε περιοχές που δεν είχε πραγματοποιηθεί μέχρι τώρα δειγματοληψία.

Μειονέκτημα είναι ότι ανατολικά των τριών γεωτρήσεων στο βόρειο τμήμα παραμένει μια περιοχή χωρίς νέα πληροφορία και θα πρέπει να εκτιμηθεί από δείγματα που απέχουν περισσότερο από 100m.



Εικόνα 5-3: Προτεινόμενες θέσεις 5 νέων ερευνητικών γεωτρήσεων (σενάριο 1)

Ερευνητικό σενάριο 2:

Τρεις (3) γεωτρήσεις, συνολικού μήκους 194 m

Εάν το επίπεδο ακρίβειας των εκτιμήσεων που βασίζονται στα βαριογράμματα που προσδιορίστηκαν με τα υπάρχοντα στοιχεία θεωρηθεί ικανοποιητικό, τότε ο σκοπός των γεωτρήσεων θα είναι να αυξήσουν την

πληροφορία στις περιοχές που δεν υπάρχει, χωρίς να ληφθεί υπόψη η πιθανή βελτίωση του μοντέλου της ανισοτροπίας.

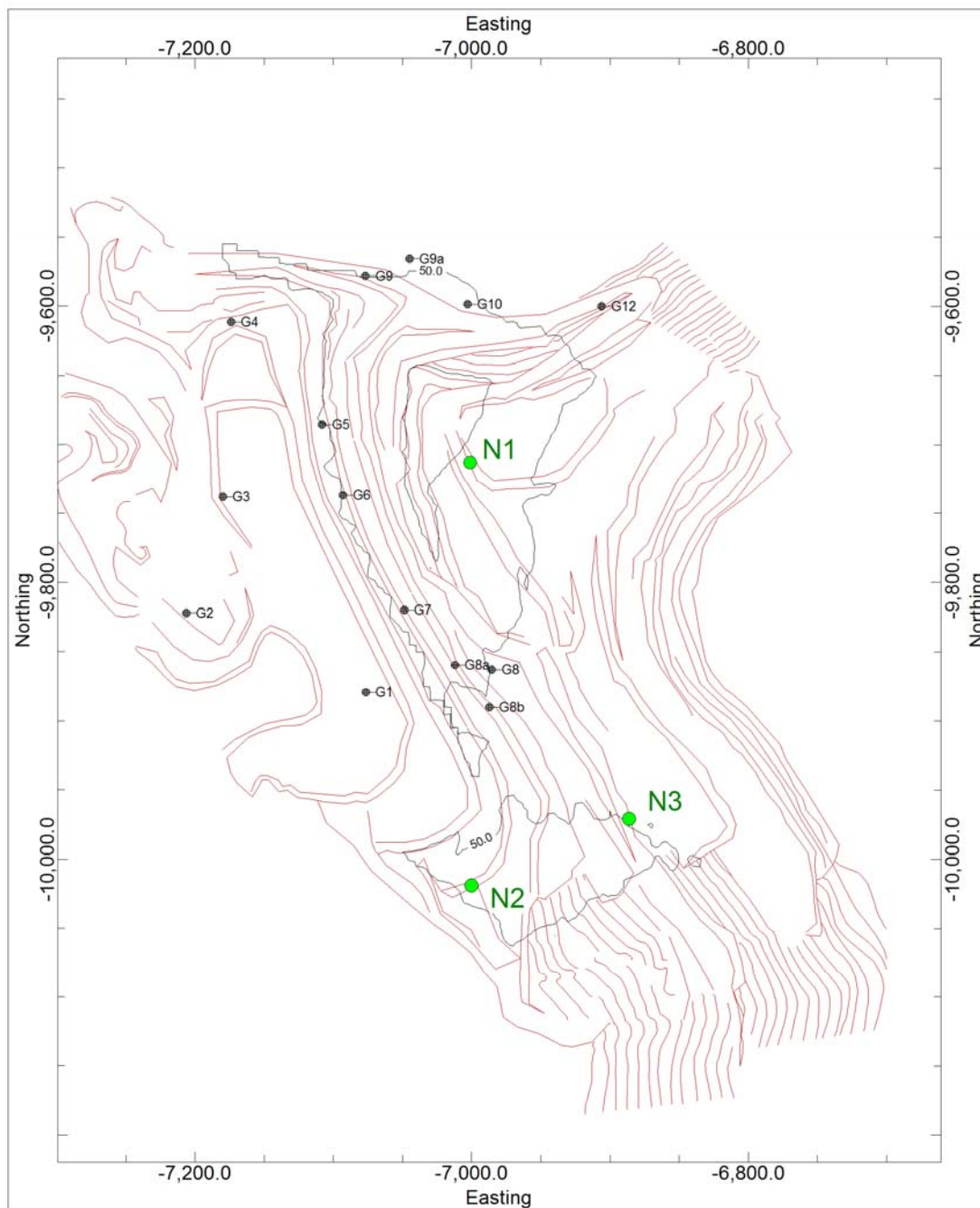
Αφού η ακτίνα επίδρασης για το διωδρίτη υπολογίστηκε σε 60m, και με την ένδειξη ότι για τον ανυδρίτη στο οριζόντιο επίπεδο η ακτίνα επίδρασης είναι πολύ μεγαλύτερη από τα 40m που βεβαιώνουν οι γεωτρήσεις, προτείνεται οι γεωτρήσεις που θα γίνουν να απέχουν περί τα 120m από τις ήδη υπάρχουσες και μεταξύ τους, ώστε να επιτευχθεί η μέγιστη δυνατή κάλυψη του χώρου του λατομείου. Με βάση τα παραπάνω προτείνονται 3 γεωτρήσεις, όπως παρουσιάζονται στον χάρτη της εικόνας 5-4:

Η N1 στο βόρειο τμήμα, στην περιοχή του μέγιστου πάχους, η N2 στο ΝΔ τμήμα του λατομείου και η N3 ΒΑ από την προηγούμενη. Αφού ο κύριος σκοπός αυτού του σεναρίου είναι η αύξηση της πληροφορίας για να γίνει καλύτερη εκμετάλλευση των ήδη προσδιορισθέντων ελλειψοειδών ανισοτροπίας, οι γεωτρήσεις πρέπει να φτάσουν μέχρι το επίπεδο εξόφλησης, ώστε να παρέχουν κατά βάθος πληροφορία από όλο το λατομείο. Στον παρακάτω πίνακα περιγράφονται οι γεωτρήσεις:

	X	Y	Z	Προτεινόμενο βάθος (m)	Βάθος ως εξόφληση	Αριθμός δειγμάτων (/3 m)
N1	-7001	-9713	298	92	92.05	30
N2	-7000	-10019	244	60	59.90	20
N3	-6886	-9971	295	42	42.42	14
Σύνολο				194		64

Το πλεονέκτημα αυτής της προσέγγισης είναι η πλήρης κάλυψη όλου του χώρου του λατομείου με δείγματα. Αυτό σημαίνει ότι κατά την εκτίμηση της κατανομής των ποιοτήτων στο λατομείο, όλα τα blocks θα εκτιμηθούν από δείγματα που δεν θα απέχουν περισσότερο από 60 m από το εκτιμώμενο block.

Μειονέκτημα είναι ότι δεν θα βελτιωθεί το μοντέλο ανισοτροπίας, κάτι που θα διατηρήσει αρκετά μεγάλα σφάλματα εκτίμησης.



Εικόνα 5-4: Προτεινόμενες θέσεις 3 νέων ερευνητικών γεωτρήσεων (σενάριο 2)

Ερευνητικό σενάριο 3:

Δύο (2) γεωτρήσεις, συνολικού μήκους 120 m και 19 δειγματοληψίες με Wagon Drill

Το σενάριο αυτό αποτελεί συνδυασμό των δύο προηγούμενων. Επιδιώκεται η μέγιστη δυνατή κάλυψη του λατομείου με νέα δείγματα αλλά και αρκετά πυκνή

δειγματοληψία, ώστε να προσδιοριστούν τα βαριογράμματα με μεγαλύτερη ακρίβεια και άρα τελικά καλύτερη ακρίβεια εκτίμησης.

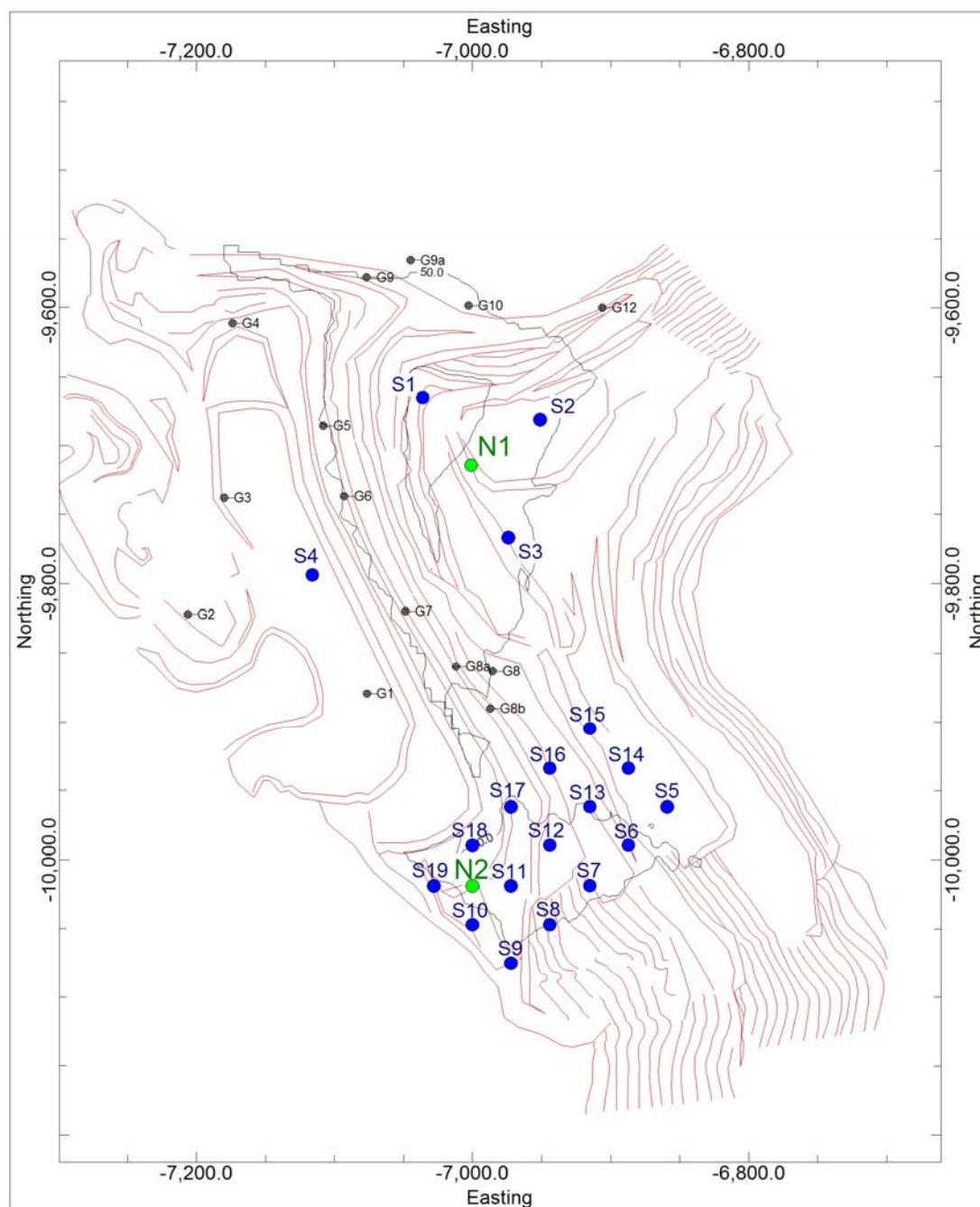
Οι γεωτρήσεις N1 και N2 είναι οι ίδιες με το σενάριο 2 και συμπληρώνονται από έναν πυκνό κάναβο (40m) 15 δειγματοληψιών με Wagon Drill γύρω από τη N2 στο νότιο τμήμα του λατομείου, έτσι ώστε να καταστεί δυνατός ο υπολογισμός βαριογραμμάτων σε περισσότερες διευθύνσεις από ότι με τα υπάρχοντα στοιχεία.

Το τμήμα αυτής της προσέγγισης είναι ότι παραμένουν χωρίς πληροφορία τα βαθύτερα τμήματα του λατομείου, ιδίως στο βόρειο τμήμα, γύρω από τη N1. Στην περιοχή αυτή έχουν τοποθετηθεί 4 δειγματοληψίες με Wagon Drill για βελτίωση της πληροφορίας τουλάχιστον στα πρώτα 25m.

Οι συνολικές δειγματοληψίες με Wagon Drill έχουν μήκος 464m. Στον παρακάτω πίνακα δίνονται τα στοιχεία των γεωτρήσεων και των δειγματοληψιών, που παρουσιάζονται και στον χάρτη της εικόνας 5-5.

	X	Y	Z	Προτεινόμενο βάθος [m]	Βάθος ως εξόφληση	Αριθμός δειγμάτων (3 m)
N1	-7001	-9714	298	75	92.52	25
N2	-7000	-10019	244	45	59.89	15
Σύνολο				120		
S1	-7036	-9665	292	25	107.26	8
S2	-6951	-9681	295	25	63.89	8
S3	-6974	-9767	308	25	67.57	8
S4	-7116	-9794	201	15	15.82	5
S5	-6859	-9962	310	25	32.33	8
S6	-6887	-9990	294	25	57.97	8
S7	-6915	-10019	288	25	63.13	8
S8	-6944	-10047	269	25	54.40	8
S9	-6972	-10075	249	25	46.83	8
S10	-7000	-10047	244	25	29.32	8
S11	-6972	-10019	251	25	66.26	8
S12	-6944	-9990	267	25	67.48	8
S13	-6915	-9962	287	25	50.21	8
S14	-6887	-9934	302	24	24.31	8
S15	-6915	-9905	298	25	28.35	8
S16	-6944	-9934	268	25	39.85	8

S17	-6972	-9962	252	25	58.94	8
S18	-7000	-9990	238	25	53.10	8
S19	-7028	-10019	238	25	37.97	8
Σύνολο δειγμάτων						189



Εικόνα 5-5: Προτεινόμενες θέσεις νέων ερευνητικών γεωτρήσεων και δειγματοληψιών με Wagon Drill (σενάριο 3)

Ερευνητικό σενάριο 4:

Τριάντα επτά (37), (ή 31) δειγματοληψίες με Wagon Drill

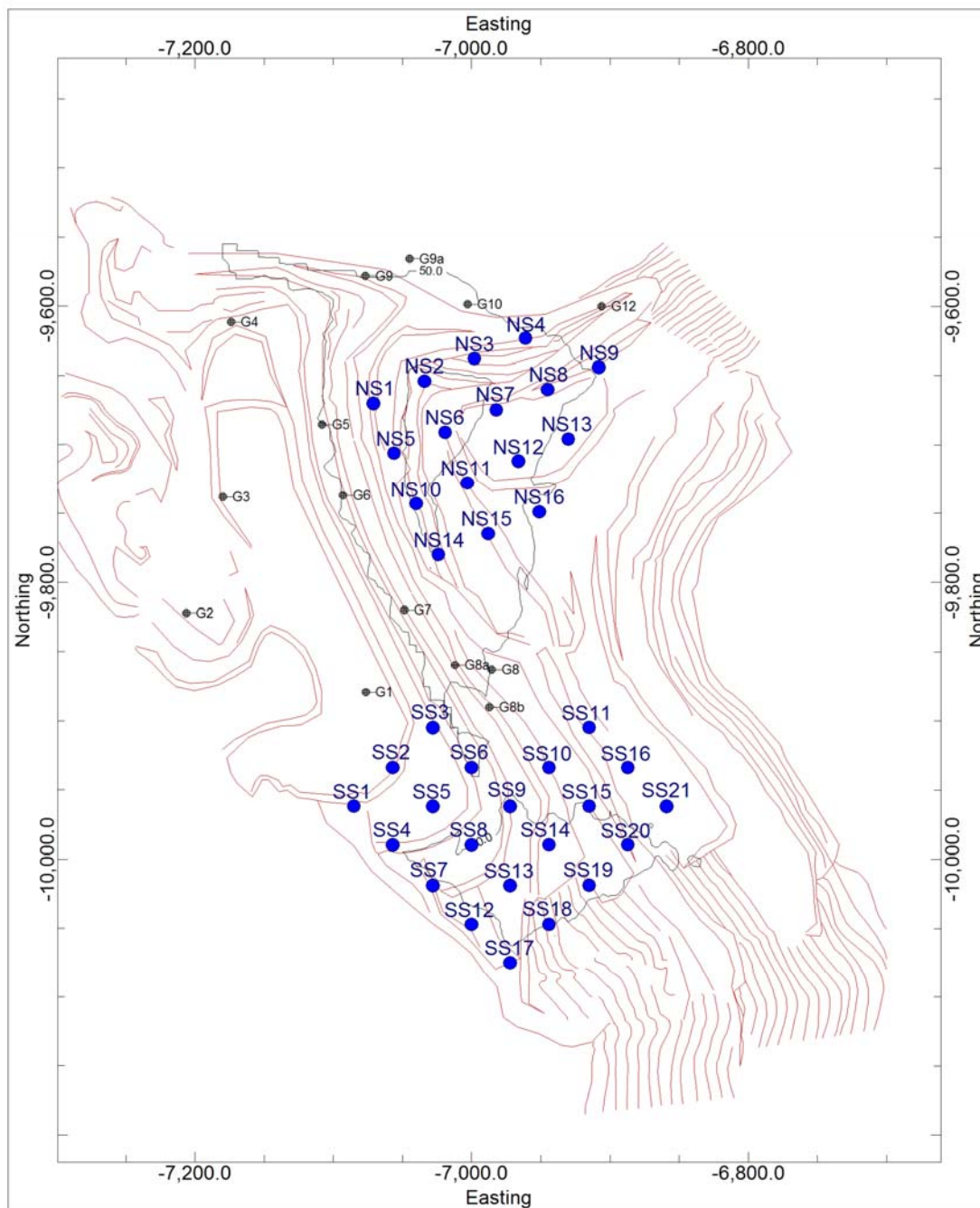
Το σενάριο αυτό αποτελεί εξέλιξη του σεναρίου 3. Επιδιώκεται η μέγιστη δυνατή κάλυψη του λατομείου με νέα δείγματα αλλά και αρκετά πυκνή δειγματοληψία, ώστε να προσδιοριστούν τα βαριογράμματα με μεγαλύτερη ακρίβεια και άρα τελικά καλύτερη ακρίβεια εκτίμησης, χωρίς γεωτρήσεις και μόνο με δειγματοληψία Wagon Drill (25m ανά δειγματοληψία και ένα δείγμα ανά 3m, 8 δείγματα ανά διάτρηση).

Η δειγματοληψία αναπτύσσεται σε δυό πυκνούς κανάβους (40m) με 16 δειγματοληψίες στο βόρειο τμήμα και 21 στο νότιο στο νότιο τμήμα του λατομείου, έτσι ώστε να καταστεί δυνατός αξιόπιστος υπολογισμός βαριογραμμάτων σε όλες τις διευθύνσεις στο χώρο. Στο νότιο τμήμα που δεν υπάρχουν γεωτρήσεις ο προσανατολισμός του κανάβου είναι B45°, όπως ήταν και για την επιφανειακή δειγματοληψία, στο βόρειο τμήμα προσανατολίστηκε πάνω στη νοητή γραμμή που συνδέει τις γεωτρήσεις G5 και G12, ώστε να ενταχθούν και αυτές στον κανάβο και να αυξηθεί η αξιοποίηση της πληροφορίας.

Το τίμημα αυτής της προσέγγισης είναι ότι παραμένουν χωρίς πληροφορία τα βαθύτερα τμήματα του λατομείου. Οι συνολικές δειγματοληψίες με Wagon Drill έχουν μήκος 524m στο βόρειο τμήμα και 400 στο νότιο. Το σύνολο των δειγμάτων είναι 296. Στον παρακάτω πίνακα δίνονται τα στοιχεία των δειγματοληψιών, που παρουσιάζονται και στον χάρτη της εικόνας 5-6.

Νότιο τμήμα	X	Y	Z	Βάθος ως εξόφληση	Βόρειο τμήμα	X	Y	Z	Βάθος ως εξόφληση
SS1	-7085	-9962	223	37.593	NS1	-7071	-9670	260	75.43
SS2	-7057	-9934	214	28.65	NS2	-7034	-9654	291	106.10
SS3	-7028	-9905	224	39.375	NS3	-6998	-9638	278	92.94
SS4	-7057	-9990	229	43.874	NS4	-6961	-9623	266	57.28
SS5	-7028	-9962	224	39.481	NS5	-7056	-9706	277	91.93
SS6	-7000	-9934	237	52.039	NS6	-7019	-9691	294	109.31
SS7	-7028	-10019	238	37.967	NS7	-6982	-9675	294	94.20
SS8	-7000	-9990	238	53.098	NS8	-6945	-9660	291	65.90
SS9	-6972	-9962	252	58.938	NS9	-6908	-9644	290	41.10
SS10	-6944	-9934	268	39.852	NS10	-7040	-9743	288	102.93

SS11	-6915	-9905	298	28.353	NS11	-7003	-9728	301	85.92
SS12	-7000	-10047	244	29.325	NS12	-6966	-9712	295	66.76
SS13	-6972	-10019	251	66.258	NS13	-6930	-9696	295	39.60
SS14	-6944	-9990	267	67.475	NS14	-7024	-9780	290	98.28
SS15	-6915	-9962	287	50.208	NS15	-6988	-9765	294	69.18
SS16	-6887	-9934	302	24.305	NS16	-6951	-9749	311	40.57
SS17	-6972	-10075	249	46.827					
SS18	-6944	-10047	269	54.403					
SS19	-6915	-10019	288	63.126					
SS20	-6887	-9990	294	57.974					
SS21	-6859	-9962	310	32.328					



Εικόνα 5-6: Προτεινόμενες θέσεις δειγματοληψιών με Wagon Drill (σενάριο 4)

Ερευνητικό σενάριο 5:

4 γεωτρήσεις, συνολικά 250m & 28 δειγματοληψίες με Wagon Drill

Για να αντιμετωπιστεί το πρόβλημα της αξιοπιστίας των προγνώσεων και να βελτιωθεί η ακρίβεια των εκτιμήσεων, προτείνεται και ένα 5^ο ερευνητικό σενάριο, δειγματοληπτικών γεωτρήσεων, σε συνδυασμό γεωτρήσεων και δειγματοληψίας με Wagon Drill. Για τη δειγματοληψία με Wagon Drill θεωρείται ως μέγιστο βάθος

δειγματοληψίας σε κάθε θέση 15m και το μήκος δείγματος που θα σταλεί για ανάλυση (και στις δύο περιπτώσεις) 3m.

Το προτεινόμενο ερευνητικό σενάριο επικεντρώνεται στις περιοχές που δεν υπάρχουν αυτήν τη στιγμή επαρκή δείγματα, ενώ ταυτόχρονα παρουσιάζουν και το μεγαλύτερο πάχος απολήψιμου υλικού. Στον χάρτη ισοπαχών της εικόνας 4-35 της μελέτης φαίνεται ότι το μεγαλύτερο πάχος ανάμεσα στη σημερινή τοπογραφία και το δάπεδο εξόφλησης είναι μεγαλύτερο από 100m στο βόρειο τμήμα του γυψορυχείου, ανατολικά των γεωτρήσεων G5 και G6 και νότια της γεώτρησης G10. Επίσης στο νότιο τμήμα του γυψορυχείου το πάχος είναι μεγαλύτερο από 70m, χωρίς να υπάρχουν στην περιοχή αυτή γεωτρήσεις.

Οι γεωτρήσεις που προτείνονται δεν φθάνουν βαθύτερα από το δάπεδο εξόφλησης στο βόρειο τμήμα, ενώ αντίθετα στο νότιο τμήμα, που δεν υπάρχουν ως σήμερα επαρκή στοιχεία, προτείνεται να επεκταθούν κατά 5 και 8m κάτω από το επίπεδο αυτό, ώστε να αποκλειστεί για όλη την νοτιοανατολική περιοχή του γυψορυχείου η ύπαρξη φυλλιτικών και ανθρακικών στρωμάτων.

Σκοπός αυτής της εκδοχής αυτής είναι να επιτευχθεί ουσιαστική βελτίωση των βαριογραμμάτων και άρα και της αξιοπιστίας των αποτελεσμάτων των εκτιμήσεων, επιτυγχάνοντας ταυτόχρονα και τη μέγιστη δυνατή κάλυψη των περιοχών που δεν έχουν ερευνηθεί.

Με βάση τα παραπάνω προτείνονται 4 γεωτρήσεις, όπως παρουσιάζονται στον χάρτη της εικόνας 5-7:

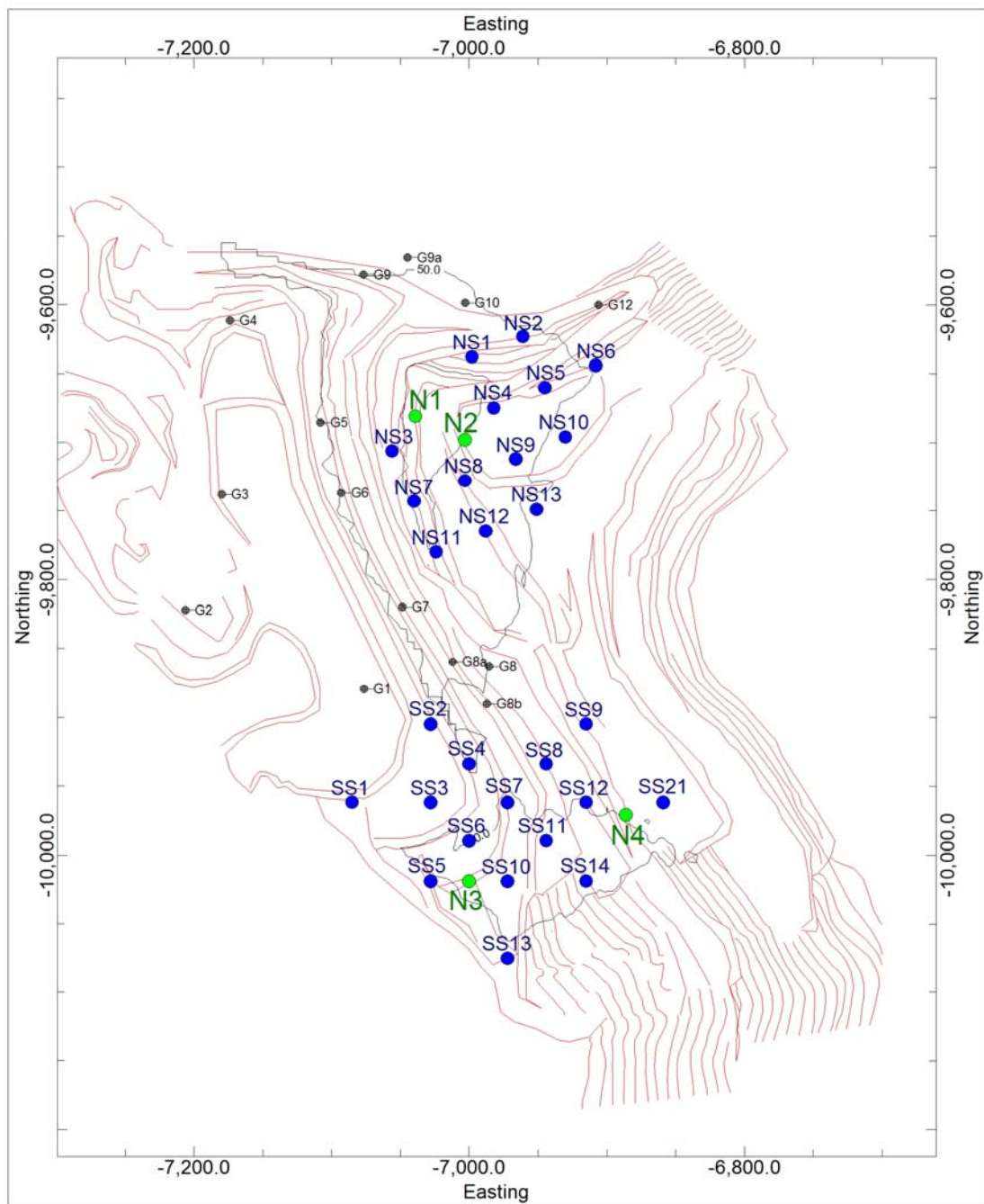
Οι δύο γεωτρήσεις N1 και N2 τοποθετήθηκαν στο βόρειο τμήμα του λατομείου, στην περιοχή του μέγιστου πάχους του απολήψιμου υλικού, κοντά στις γεωτρήσεις G5 και G6. Με αυτόν τον τρόπο δημιουργείται ένας κάναβος από 4 γεωτρήσεις με απόσταση περίπου 40m, ενώ μεταξύ τους παρεμβάλλονται και οι 13 δειγματοληψίες με Wagon Drill, έτσι ώστε να επιτρέψει τον υπολογισμό βαριογραμμάτων σε όλες τις διευθύνσεις στο χώρο και άρα έναν καλύτερο προσδιορισμό των ελλειψοειδών ανισοτροπίας. Ο κάναβος των δειγμάτων προσανατολίστηκε πάνω στη νοητή γραμμή που συνδέει τις γεωτρήσεις G6 και G12, ώστε να ενταχθούν και αυτές στον κάναβο και να αυξηθεί η αξιοποίηση της πληροφορίας.

Οι γεωτρήσεις N3 και N4 τοποθετήθηκαν στο νότιο τμήμα του λατομείου, όπου το πάχος του απολήψιμου υλικού φτάνει τα 70 – 80m και δεν υπάρχουν άλλες γεωτρήσεις κοντά. Για την πύκνωση της πληροφορίας συνδυάζονται με 15

δειγματοληψίες με Wagon Drill, με προσανατολισμό του κανάβου B45°, όπως ήταν και στην αρχική επιφανειακή δειγματοληψία. Στους παρακάτω πίνακες περιγράφονται τα συνοδά στοιχεία των γεωτρήσεων και των δειγματοληψιών με Wagon Drill:

	X	Y	Z	Προτεινόμενο βάθος [m]	Βάθος ως εξόφληση	Αριθμός δειγμάτων (/3 m)
N1	-7039	-9681	292	85	107.24	28
N2	-7003	-9698	294	50	97.20	16
N3	-7000	-10019	244	65	59.90	21
N4	-6886	-9971	295	50	42.42	16
Σύνολο				250		81

Νότιο τμήμα	X	Y	Z	Βάθος ως εξόφληση	Βόρειο τμήμα	X	Y	Z	Βάθος ως εξόφληση
SS1	-7085	-9962	223	37.593	NS1	-6998	-9638	278	92.94
SS2	-7028	-9905	224	39.375	NS2	-6961	-9623	266	57.28
SS3	-7028	-9962	224	39.481	NS3	-7056	-9706	277	91.93
SS4	-7000	-9934	237	52.039	NS4	-6982	-9675	294	94.20
SS5	-7028	-10019	238	37.967	NS5	-6945	-9660	291	65.90
SS6	-7000	-9990	238	53.098	NS6	-6908	-9644	290	41.10
SS7	-6972	-9962	252	58.938	NS7	-7040	-9743	288	102.93
SS8	-6944	-9934	268	39.852	NS8	-7003	-9728	301	85.92
SS9	-6915	-9905	298	28.353	NS9	-6966	-9712	295	66.76
SS10	-6972	-10019	251	66.258	NS10	-6930	-9696	295	39.60
SS11	-6944	-9990	267	67.475	NS11	-7024	-9780	290	98.28
SS12	-6915	-9962	287	50.208	NS12	-6988	-9765	294	69.18
SS13	-6972	-10075	249	46.827	NS13	-6951	-9749	311	40.57
SS14	-6915	-10019	288	63.126					
SS15	-6859	-9962	310	32.328					



Εικόνα 5-7: Προτεινόμενες θέσεις 4 νέων ερευνητικών γεωτρήσεων και 28 θέσεων δειγματοληψιών με Wagon Drill (σενάριο 5)

Βιβλιογραφία

Ελληνική

5. Γ. Αλεβίζος, Μ. Γαλετάκης, 2005. Ορυκτολογική εξέταση της εμφάνισης ανυδρίτη-γύψου της περιοχής Βάθης της Δυτικής Κρήτης – Μεταβολή ποιοτικών χαρακτηριστικών και ιδιομορφίες εξόρυξης. Μεταλλειολογικά Μεταλλουργικά Χρονικά, τόμος 15, τεύχος 1, σελ. 83-102.
6. Μ. Αντωνίου, 1987. Συμβολή στην γνώση των εβαποριτών της Αν. Κρήτης και Καρπάθου. Ορυκτός Πλούτος, 49, σελ. 55-62.
7. Γ. Βάχλας, 2007. Τρισδιάστατο γεωλογικό μοντέλο του κοιτάσματος γύψου και ανυδρίτη στη θέση Αλτσι της επαρχίας Σητείας στην Ανατολική Κρήτη. Διπλωματική εργασία, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.
8. Ι.Γ.Ε.Υ (1965): Επεξηγηματικό τεύχος μεταλλογενετικού χάρτη 1:1.000.000, Ι.Γ.Ε.Υ, Αθήνα.
9. Ι. Τρ. Κανάρη, 1989. Τα κοιτάσματα γύψου της Ν. Κρήτης. ΠΓΜΕ, σελ. 34-42.
10. Ι. Καπαγερίδης, 2006. Εισαγωγή στην γεωστατιστική. Εκδόσεις Ιων, Αθήνα, σελ.29.
11. Εμ. Μανούσογλου κ.α., 2007. Γεωμετρικό και γεωστατιστικό μοντέλο του λατομείου γύψου-ανυδρίτη στο Αλτσι. Πρώτη τεχνική έκθεση, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.
12. Ι. Παπασταματίου, 1958. Έκθεση περί του κοιτάσματος γύψου «Αλτσι»-Αν. Κρήτη. ΠΓΕΥ, Αθήνα.
13. Ι. Παπασταματίου κ.ά., 1959, Γεωλογικό Φύλλο Ιεράπετρα, κλίμακα 1:50.000, ΠΓΜΕ.
14. Φυτρολάκης, 1972. Η επίδραση ορογενετικών τινών κινήσεων και ο σχηματισμός της γύψου εις την Ανατολικήν Κρήτην (επαρχία Σητείας). Δελτ. Ελλην. Γεωλ. Εταιρ.,9/1: 81-100, Αθήνα.
15. Φυτρολάκης, 1980. Η γεωλογική δομή της Κρήτης. Διατριβή επί υφηγεσία, Ε.Μ.Π., σελ. 54-54.

Ξενόγλωσση

16. Aubouin J. & Dercourt J., 1965. Un element externe de la zone du Pinde: La serie d'Ethia (Crete, Grece). Bull. Soc. Geol. France, (7), 753-757, Paris.

17. Bauman et al., (1978). The eastern Crete nappe pile – a result of gravity tectonics. *Alps, Appenines, Hellenides*, 445-448.
18. Bonneau, 1973. *Sur les affinités ioniennes des "calcaires en plaquettes" epimétamorphiques de la Crète, le charriage de la série de Gavrovo-Tripolitza et la structure de l' arc égéen.* C. R. Acad. Sc. Paris, 277: 2453-2456, Paris.
19. Cayeux L. (1902): *Sur la composition et l'âge des terrains métamorphiques de la Crète.* - C. R. Acad. Sc. Paris, 134: 1117-1119; Paris.
20. N. Creutzburg & E. Seidel, 1975. *On the Present Knowledge of the Pre-Neogene Geology in Crete (Greece).* N. Jb. Geol. Palaont. Abh., 149, 363-383, Stuttgart
21. Creutzburg & Papastamatiou, 1966. *Νέα συμβολή εις την Γεωλογία της νήσου Κρήτης.*- Ι.Γ.Ε.Υ. Γεωλογικά και Γεωφυσικά Μελέται, τ. ΧΙ, No 2, σ.173-185, Αθήνα.
22. Creutzburg 1958. *Probleme des Gebirgsbaues und der Morohogenese auf der Insel Kreta .* Freib. Univer. N.F.H. 26, 5-47.
23. Dercourt et al 1980. *Crece. Introduction a la geologie generale.* – 26e Congr. Geol. Internat. Paris, Livret-Guide, **G 12**: 159 S.
24. DORNSIEPEN, U.F. & MANUTSOGLU, E. (1994): *Zur Gliederung der Phyllit-Decke Kretas und des Peloponnes.* - Z.d.t. geol. Ges., **145**: 286-304.
25. U. F. Dornsiepen, Em. Manutsoglu, D. Mertmann, 2001. *Permian-Triassic palaeogeography of the external Hellenides.* Palaeogeography-Palaeoclimatology-Palaeoecology, 172, pp. 327-338.
26. G. Einsele, 2000. *Sedimentary basins. Evolution, Facies and Sedimentary Budget.* Springer-Verlag, Berlin, pp. 81-83, 258-283.
27. Gerhard H. Bachmann, Mahmoud A. M. Aref, 2005. *A seismite in Triassic gypsum deposits (Grabfeld Formation, Ladinian), southwestern Germany.* Sedimentary Geology, 180, pp. 75-89.
28. Gerolymatos, E. & Jacobshagen, V. (1986): *Die Phyllit-Quarzit-Serie im Fenster von Feneos (Nord-Peloponnes).* - Inst. Geol. Mineral. Res., Papastamatiou, J., memor. Issue: 99-105; Athens
29. Kopp, K.O. & Ott, E. (1977): *Spezialkartierungen im Umkreis neuer Fossilfunde in Trypali- und Tripolitzakalken Westkretas.* - N. Jb. Geol. Paläont., Mh., 1977: 228-253; Stuttgart
30. Kopp K.O & Wernado G. (1983): *Über eine intra-triadische Deckenbewegung auf Kreta.* - Geol. Rdsch. 72: 894-910; Stuttgart.

31. Krahel et al. (1986): *Neue Fossilfunde in der Phyllit-Gruppe Ostkretas (Griechenland)*. - Z. dt. geol. Ges., 137: 523-536; Hannover.
32. Krahel et al., (1982): *Neue Daten zur Biostratigraphie und zur Lagerung der Phyllit-Gruppe und der Trypali-Gruppe auf der Insel Kreta (Griechenland)*. - Geol. Rdsch., 72: 1147-1166; Stuttgart
33. S.E. KUSS & G. THORBECKE, (1974): Die präneogenen Gesteine der Insel Kreta und ihre Korrelierbarkeit im ägäischen Raum. - Ber. Naturf. Ges. Freiburg i. Br., **64**: 39-75.
34. Issa M. Makhoul, Abdel Aziz El-Haddad, 2006. *Depositional environments and facies of the Late Triassic Abu Ruweis Formation, Jordan*. Journal of Asian Earth Sciences, 28, pp. 372-384.
35. Ian A. McIlreath, David W. Morrow, 1990. *Diagenesis*. Geoscience Canada, pp. 141.
36. J. L. Melvin, 1991. *Evaporites, Petroleum and Mineral Resources*. Developments in sedimentology 50, Elsevier, Amsterdam, pp. 174-175.
37. A. J. G. Notholt, D. E. Highley, 1975. *Gypsum and Anhydrite*. Mineral Resources, Consultative Committee, Mineral Dossier, No 13, pp. 1-4.
38. Papastamatiou & Reichel (1956): *Sur l'âge des Phyllades de l'île de Crète*. - Eclogae geol. Helv., 49: 147-149; Basel.
39. Raulin (1869): *Description physique de l'île de Crète*. Actes. Soc. Linn. Bordeaux, T.23, pp. 1-157, 321-444, Bordeaux
40. Sanneman W. & Seidel E. (1976): *Die Triassschichten von Rawdoucha/NW-Kreta. Ihre Stellung im kretischen Deckenbau*. - N. Jb. Geol. Paläont., Mh., 1976: 221-228; Stuttgart.
41. Seidel E. Die Tripolitsa und die Pindos Serie im Raum von Paleochora (SW Kreta, Griechenland). Diss. Würzburg, 102 S.
42. Seidel et al., (1982): *A Late Oligocene/Early Miocene high pressure belt in the External Hellenides*. - Geol. Jb., 23: 165-206; Hannover.
43. G. Testa, S. Lugli, 2000. *Gypsum-anhydrite transformations in Messinian evaporites of central Tuscany (Italy)*. Sedimentary Geology, 130, pp. 249-268.
44. G. Thorbecke, 1974. *Zur Deckennatur des permotriadischen Phyllits von Kreta*. N. Jr. Geol. Paleont. Mh., 246-256, Stuttgart.

45. Jorg Trappe, 2000. *Pangea: extravagant sedimentary resource formation during supercontinent configuration, an overview*. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 161, pp. 35–48.
46. Wachendorf et al., (1974) : Die “Phyllit-serie” Ostkretas: Eine Melange. Z.dt.geol.Ges., 125, 237-251, Hannover.
47. Wachendorf et al., 1980. Geodynamik des mittelmittelkretischen Deckenstapels (nördliche Dinarische Gebirge). Geotektonische Forsch. 59, 1-72.
48. John Warren, 1999. *Evaporites. Their Evolution and Economics*. Blackwell Science Ltd, pp. 1-4, 12-14, 18, 24-27, 63.
49. Wurm, 1950. *Zur Kenntnis des Metamorphismus der Insel Kreta*. - N. Jb. Geol. Paläont., Mh., 1950: 206-239; Stuttgart..